

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО  
ГОСПОДАРСТВА**

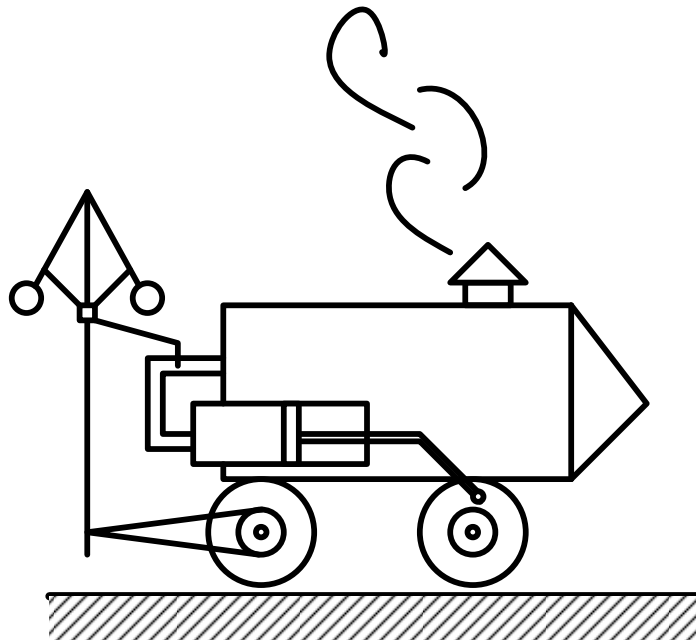
**К.О.Сорока**

**Методичні вказівки**

до самостійного вивчення дисципліни та виконання  
лабораторних робіт з курсу

**“ТЕОРІЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ”**

*(для студентів 3 курсу заочної форми навчання напрямку підготовки  
0922 (6.050702) “Електромеханіка” спеціальностей “Електричні системи і  
комплекси транспортних засобів”; “Електричний транспорт”;  
“Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”)*



Методичні вказівки до самостійного вивчення дисципліни та виконання лабораторних робіт з курсу “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 курсу заочної форми навчання (напряму підготовки 0922 (6.050702) “Електромеханіка” спеціальностей 6.092201 “Електричні системи і комплекси транспортних засобів”; 6.092202 “Електричний транспорт”; 6.092203 “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”) / Укл.: Сорока К.О. – Х.: ХНАМГ, 2010. - 76 с.

Укладач: К.О.Сорока

Рецензент: В.М.Копаниця

Затверджено кафедрою ЕТ,  
протокол № 6 від 15.12 2009р.

## Зміст

<b>Зміст</b> .....	3
<b>Вступ</b> .....	6
<b>Програма та зміст дисципліни</b> .....	7
<b>Лабораторна робота № 1</b> .....	9
<i>Вивчення передаточних функцій та перехідних характеристик типових динамічних ланок систем автоматичного керування.</i> .....	9
<b>1. Мета роботи</b> .....	9
<b>2. Обладнання для виконання роботи</b> .....	9
<b>3. Підготовка до виконання роботи</b> .....	9
<b>4. Завдання до лабораторної роботи</b> .....	9
<b>5. Хід виконання лабораторної роботи</b> .....	10
<b>5.1. Підготовка до виконання роботи</b> .....	10
<b>5.3 Підготовка моделі до використання</b> .....	11
<b>5.5 Дослідження залежності перехідної характеристики від параметрів аперіодичної ланки</b> .....	14
<b>5.6 Дослідження перехідної характеристики інтегруючої ланки</b> .....	15
<b>5.7 Дослідження перехідної характеристики реальної диференційної ланки</b> .....	16
<b>5.8 Дослідження перехідної характеристики коливальної ланки</b> .....	16
<b>7. Контрольні запитання</b> .....	19
<i>Вивчення частотних характеристик динамічних ланок систем автоматичного керування.</i> .....	20
<b>1. Мета роботи</b> .....	20
<b>2. Обладнання для виконання роботи</b> .....	20
<b>3. Підготовка до лабораторної роботи</b> .....	20
<b>4. Завдання до лабораторної роботи</b> .....	20
<b>5. Хід виконання лабораторної роботи</b> .....	21
<b>5.1. Підготовка до виконання роботи</b> .....	21
<b>5.2. Побудова моделі</b> .....	21
<b>5.3. Побудова частотних характеристик аперіодичної ланки</b> .....	22
<b>5.4. Дослідження залежності частотних характеристик аперіодичної ланки від її параметрів</b> .....	25
<b>5.5. Дослідження частотних характеристик інтегруючої ланки</b> .....	28
<b>5.6. Дослідження частотних характеристик реальної диференційної ланки</b> .....	28
<b>5.7. Дослідження частотних характеристик коливальної ланки</b> .....	29
<b>5.8. Дослідження характеристик аперіодичної ланки другого порядку і подання цієї ланки двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками першого порядку.</b> .....	29
<b>6. Звіт з лабораторної роботи</b> .....	30

7. Контрольні запитання .....	31
3. Лабораторна робота № 3.....	32
<i>Дослідження стійкості розімкнутої і замкнутої систем автоматичного керування за критерієм Найквіста.....</i>	<i>32</i>
1. Мета роботи.....	32
2. Обладнання для виконання роботи .....	32
3. Підготовка до виконання роботи .....	32
4. Завдання до лабораторної роботи.....	32
5. Порядок виконання лабораторної роботи.....	33
5.1. Побудова моделі.....	33
5.3. Дослідження стійкості системи за логарифмічним критерієм (Найквіста).....	36
5.4. Дослідження стійкості системи за АФЧХ розімкнутої системи (годографом Найквіста) .....	38
5.5. Дослідження системи, що знаходиться на межі стійкості.....	41
5.6. Завершення роботи. ....	41
6. Звіт з лабораторної роботи.....	42
7. Контрольні запитання .....	42
Лабораторна робота № 4.....	43
<i>Дослідження стійкості систем автоматичного керування за критерієм Михайлова й полюсами передаточної функції.....</i>	<i>43</i>
1. Мета роботи.....	43
2. Обладнання для виконання роботи .....	43
3. Підготовка до виконання роботи .....	43
4. Завдання до лабораторної роботи.....	43
5. Дослідження стійкості системи за критерієм Михайлова .....	44
6. Знаходження полюсів і нулів передаточної функції і визначення стійкості за їх розміщенням в комплексній площині .....	46
8. Звіт з лабораторної роботи.....	49
9. Контрольні запитання .....	50
<i>Дослідження показників якості керування .....</i>	<i>51</i>
1. Мета роботи.....	51
2. Обладнання для виконання роботи .....	51
3. Підготовка до виконання роботи .....	51
4. Хід виконання лабораторної роботи.....	51
4.1. Підготовка до виконання роботи. ....	51
4.2. Визначення показників якості керування за експериментальним графіком перехідного процесу .....	52
Лабораторна робота № 6.....	55
<i>Дослідження точності статичної системи керування двигуна постійного струму .....</i>	<i>55</i>
1. Мета роботи.....	55
2. Опис змісту лабораторної роботи .....	55

3. Підготовка до виконання роботи .....	57
4. Хід виконання лабораторної роботи.....	57
<b>4.1. Початок роботи</b> .....	57
<b>4.2. Дослідження статичної похибки за сигналом керування</b> .....	58
<b>4.3. Дослідження похибки статичної системи відносно збурюючої дії</b> ..	59
<b>4.4. Визначення реакції статичної системи на динамічний сигнал</b> .....	60
<b>Лабораторна робота № 7</b> .....	63
<i>Дослідження точності астатичної системи керування</i> .....	63
<b>1. Мета роботи</b> .....	63
<b>1. Обладнання для виконання роботи</b> .....	63
<b>2. Підготовка до виконання роботи</b> .....	63
<b>3. Опис змісту лабораторної роботи</b> .....	63
<b>4. Побудова астатичної системи</b> .....	63
<b>5. Дослідження роботи астатичної системи в статичних режимах навантаження</b> .....	66
5.1. Дослідіть похибку керування статичної системи. ....	66
5.2. Дослідження точності керування астатичної системи. ....	67
5.3. Дослідження роботи астатичного регулятора в динамічних режимах .....	67
5.4. Вивчення роботи астатичної системи керування з ПІ регулятором.....	69
<b>6. Завершення роботи</b> .....	70
<b>Література</b> .....	72
<b>Додаток</b> .....	73

## Вступ

Дисципліна «Теорія автоматичного керування» є обов'язковою навчальною дисципліною за переліком дисциплін підготовки бакалаврів напрямку 0922 – «Електромеханіка», спеціальностями: «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», «Електричний транспорт» та «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». Вона читається практично у всіх технічних вузах України і є фундаментом подальшого вивчення цілого ряду дисциплін.

Мета лабораторних робіт – одержання та закріплення теоретичних знань з дисципліни, набуття практичних навиків аналізу і синтезу систем автоматичного керування.

Лабораторні роботи виконують в режимі досліджень. Студенти оволодівають методами побудови моделей, будують віртуальні моделі, відтворюють їх роботу й вивчають процеси, що відбуваються під час функціонування систем керування.

Методичні вказівки розроблені відповідно до типової програми курсу. Під час навчання студентів за заочною формою основна увага приділяється самостійній роботі. Тільки самостійно опрацювавши теоретичний матеріал й виконавши конкретні практичні завдання, можна успішно засвоїти курс дисципліни. У цих методичних вказівках дані рекомендації щодо вивчення теоретичного матеріалу й детальної розробки лабораторних робіт. При заочній формі навчання передбачено вкрай мало лабораторних робіт в межах навчального закладу. Тому студентам рекомендується самостійно проробити наведені в цих методичних вказівках лабораторні роботи.

Базою для виконання лабораторних робіт є персональний комп'ютер, який в наш час доступний кожному студентові. Для вказаних цілей найбільш універсальним і поширеним є програмний пакет MatLab з додатком Simulink. Він використовується для навчання студентів денної форми. Але він ліцензійний, доступний не кожному студенту й рекомендувати його як основу для виконання самостійної роботи студентам заочної форми навчання не бажано. Тому в цих методичних вказівках використано програмний комплекс: «Моделирование в технических установках», створений у Московському вищому технічному училищі ім. Баумана. Цей програмний комплекс для навчальних цілей розповсюджується без ліцензії і може бути переписаний із сайту МДТУ ім. Баумана <http://www.bmstu.ru/> <http://model.exponenta.ru/tau.html>.

Виконання лабораторних і практичних робіт з використання комп'ютерних засобів моделювання дозволяє суттєво підняти рівень засвоєння навчального матеріалу. За допомогою комп'ютера студенти створюють віртуальні моделі систем керування, моделюють їх роботу, досліджують і вивчають досить складні процеси їх роботи, з'ясовують до яких результатів приводить та чи інша зміна системи. Такі дії підвищують зацікавленість студентів. Щоб віртуальна модель працювала належним чином, доводиться глибоко розібратися в теоретичних питаннях, відшукати ті рішення, які забезпечують найбільш ефективну роботу. Результати вивчення теоретичного матеріалу одразу реалізуються на моделі. Це дозволяє вирішити практичні завдання і оцінити якість засвоєння матеріалу.

Студенти заочної форми навчання лабораторні роботи можуть виконувати самостійно на будь-якому комп'ютері, після отримання необхідних пояснень викладача. Для виконання лабораторних робіт потрібні ці методичні вказівки та програмний комплекс ПК МВТУ.

## Програма та зміст дисципліни

Під час самостійного вивчення студенти засвоюють матеріал відповідно до програми курсу. Нижче подано програму курсу й вказано відповідні розділи підручників, якими рекомендується користуватися при роботі над матеріалом. Слід зауважити, що не всі питання в різних підручниках висвітлені однаково детально. Підручники розроблені для різних ВУЗів й розраховані на певний рівень підготовки студентів. Порядок викладання дисципліни й логічна структура подання матеріалу в них різні. В одних ВУЗах дисципліна «Теорія автоматичного керування» читається протягом одного семестру, в інших протягом двох чи трьох семестрів. Студентам рекомендується користуватися тим підручником, в якому матеріал певного розділу подається в найбільш зручній і зрозумілій для них формі.

1. Системи автоматичного керування (САК), їх практичне використання. Основні поняття. Приклади САК. Вимоги до САК Принципи керування. Класифікація САК.

Література: [1] – с. 5-34; [2] – с.6-50; [3] – с. 9-18.

2. Математичний опис САК Рівняння динаміки. Складання рівнянь динаміки САК. Приклад САК обертами двигуна постійного струму з незалежним збудженням. Принципова та функціональна схеми.

Література: [1] – с. 35-49; [2] – с.60-69; 86-;89; 95-99; 117-131; [3] – с. 19-30.

3. Розв'язання рівнянь динаміки САК. Диференційні рівняння. Розв'язання однорідних диференційних рівнянь. Характеристичне рівняння. Комплексні числа, формули Ейлера. Поняття стійкості. Умова стійкості.

Література: [1] – с. 50-60; [2] – с.75-86; 173-180; [3] – с. 30-36; 88-93.

4. Вирішення неоднорідних диференційних рівнянь. Операційне числення. Передаточна функція. Динамічні ланки. Типи динамічних ланок. Структурна схема САК.

Література: [1] – с. 61-77; [2] – с.75-86; 89-90; 143-147; [3] – с. 36-48; 49-79.

5. Дослідження перехідних процесів у динамічних ланках. Типи випробувальних сигналів. Часові характеристики динамічних ланок. Перехідна та імпульсна перехідна характеристики.

Література [1] – с. 90-105 ; [2] – с. - ; [3] – с. 30-42; 88-93.

6. Частотні характеристики динамічних ланок. Амплітудна та фазова частотні характеристики. Комплексна передаточна функція (КПФ). Годограф та частотні характеристики. Логарифмічні частотні характеристики динамічних ланок. Мінімально фазові ланки.

Література: [1] – с. 106-129; [2] – с.89-117; [3] – с. 43-48; 49-64.

7. Типи з'єднань динамічних ланок. Правила перетворення структурних схем Структурна схема САК. Передаточна функція складної САК. Перетворення структурних схем. Побудова логарифмічних частотних характеристик складних систем.

Література: [1] – с. 77-89; 130-135; [2] – с. 95-99; 143-151; [3] – с. 65-72; 159-167.

8. Стійкість САК. Критерії стійкості. Алгебраїчний критерій Гурвіца. Дослідження стійкості сак за критерієм Найквіста, за логарифмічними частотними характеристиками, та за критерієм Михайлова. Дослідження стійкості за коренями й полюсами передаточної функції. Запас стійкості. Зони стійкості.

Література: [1] – с. 136-145; [2] – с.173-240; [3] – с. 88-105;.

9. Визначення точності керування САК Точність САК. Методи зменшення та усунення похибок. Шляхи збільшення точності.

Література: [1] – с. 145-156; [2] с.283–310; [3] – с. 117-136.

10.Якість перехідних процесів. Показники якості. Шляхи покращення якості САК. Корекція САК. Технічна реалізація регулюючих пристроїв. Дослідження якості динамічних процесів та корекція САК

Література: [1] – с. 157-166; [2] – с.241-282; 313-366; [3] – с. 105-117.

11.Нелінійні САК. Суттєва не лінійність. Метод гармонічного аналізу. Фазовий портрет. Особливості нелінійних, релейних та імпульсних САК. Типові не лінійності. Метод гармонічної лінеаризації. Автоколивання. Модуляція, види модуляції Фазова площини й фазовий портрет.

Література: [1] – с. 167-174; [2] – с.390-453; [3] – с. 249-314.

12.Класифікація дискретних систем. Математичний апарат дослідження дискретних систем. Поняття дискретних САК. Їх характеристики, класифікація.

Література: [1] – с. 175-182; [2] – с.496-561; [3] – с. 202-249.



## **Лабораторна робота № 1**

### *Вивчення передаточних функцій та перехідних характеристик типових динамічних ланок систем автоматичного керування*

#### **1. Мета роботи**

Оволодіння методами побудови моделей систем керування за допомогою програмного комплексу MBTU та дослідження, з його допомогою, передаточних функцій та перехідних характеристик основних динамічних ланок систем автоматичного керування (САК).

#### **2. Обладнання для виконання роботи**

Робота виконується на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер, або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows;
- програмний комплекс: «Моделирование в технических установках»;
- офісний пакет програм Microsoft Office.

#### **3. Підготовка до виконання роботи**

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і дані практичних занять, а саме:

- Принципи керування та класифікація САК.
- Диференційні рівняння САК. Розв'язання рівнянь за допомогою операційного числення (перетворення Лапласа).
- Визначення передаточних функцій.
- Передатні функції типових динамічних ланок.
- Типові сигнали дослідження САК.
- Перехідні й імпульсні перехідні характеристики типових ланок САК.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір, дискету для збереження результатів в електронній формі.

#### **4. Завдання до лабораторної роботи**

4.1. Навчитися моделювати САК за допомогою програмного комплексу ПК MBTU.

4.2. Побудувати моделі, в які входять найбільш поширені динамічні ланки САК.

4.3 Дослідити перехідні характеристики таких динамічних ланок: аперіодичної, підсилюючої, інтегруючої, диференційної, реальної диференційної і коливальної.

4.4. Вивчити залежність перехідних характеристик від величини коефіцієнтів динамічних ланок.

4.5. Встановити значення коефіцієнтів коливальної ланки, при яких вона перетворюється в аперіодичну ланку 2-го порядку. Розрахувати коефіцієнти двох аперіодичних ланок 1-го порядку, що її замінять.

4.5. За експериментальними графіками перехідних характеристик навчитись розрахувати значення коефіцієнтів динамічних ланок.

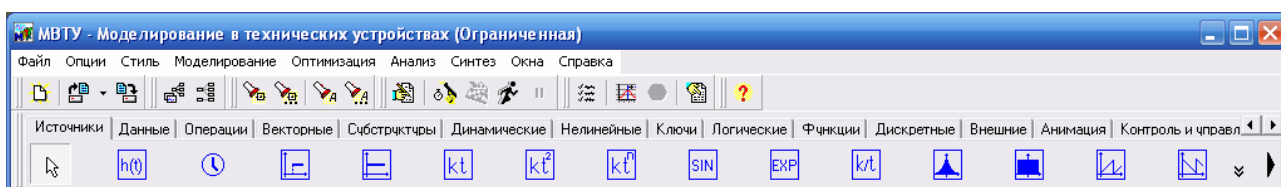
## 5. Хід виконання лабораторної роботи

### 5.1. Підготовка до виконання роботи

5.1.1 Ввімкнути персональний комп'ютер. Завантажити операційну систему й за допомогою файлового менеджера створити каталог з прізвиськом виконавця за адресою, вказаною викладачем, наприклад **D:/ET\_TAK2007/ETPB/**.

5.1.2 Завантажити програмний комплексу MBTU за допомогою значка на робочому столі чи користуючись пунктом меню **Програми > MBTU**.

5.1.3 Проконтролювати завантаження програмного комплексу. Ознайомитись з **Головним вікном** комплексу. Вигляд його показано нижче.




Головне вікно комплексу містить: рядкове меню з основними командами, панель основних інструментів й рядок бібліотек блоків.

5.1.4 Проглянути пункти меню та підпункти, що відповідають кожній команді.

5.1.5 Розглянути склад бібліотек блоків.

### 5.2 Побудова структурної схеми

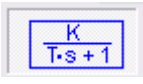
5.2.1 Відкрити **Схемное окно** нової моделі за допомогою значка **Новый** , чи команди меню **Создать > Новый**.

5.2.2 З лінійки бібліотеки блоків вибрати розділ **Источники** вхідний сигналів.

5.2.3 Вибрати значок блоку **Ступенька**  та клацнути по ньому лівою клавішею мишки. Значок повинен виділитися заглибленням (змінною забарвлення фону).

5.2.4 Перевести курсор у вікно нової моделі й клацнути на вільному місці. У вікні з'явиться зображення блоку.

5.2.5 Вибрати розділ бібліотеки **Динамические**.

5.2.6 Відшукати й вибрати значок аперіодичної ланки  і вставити його у вікно моделі, безпосередньо за знаком ступінчастого сигналу.



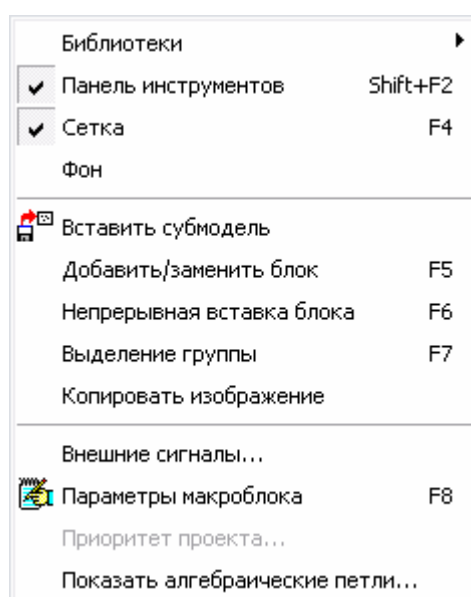
3

5.2.7 Аналогічним чином вставити блок **Временный график** розділу бібліотеки **Данные**.

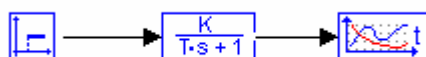
5.2.8 Перемістити курсор на велику кнопку в лівій частині бібліотеки типових блоків і клацнути по ній. Ви тимчасово відключили процедуру перенесення блоків.

5.2.9 У вікні моделі розмістити блоки в бажаному порядку, перемістивши їх за допомогою мишки при натиснутій лівій клавіші.

5.2.10 Вирівняти блоки, щоб їх входи й виходи знаходились на одному рівні. Для вирівнювання скористатися опцією **Сетка**. Щоб вивести сітку потрібно клацнути правою клавішею мишки на вільному місці вікна моделі й з меню вибрати позицію **Сетка**, або натиснути клавішу F4 при активному Схемному вікні



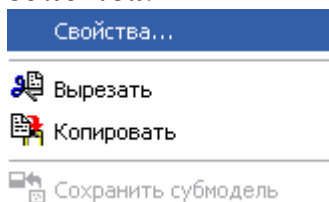
5.2.9 З'єднати блоки між собою відповідно до структурної схеми. Для цього потрібно розмістити курсор на значку виходу попереднього блоку, клацнути мишкою, перемістити курсор до входу наступного блоку і ще раз клацнути мишкою. Структурна схема повинна мати вигляд, показаний на рисунку.



### 5.3 Підготовка моделі до використання

5.3.1 Ввести параметри блоків відповідно до варіанта завдання. Блок ступінчастого сигналу повинен мати параметри: **Время** – 0, **Y0** – 0, **YK** – 1. Параметри блоку аперіодичної ланки відповідають варіанту завдання, наданого викладачем (див. табл.1, Додаток). Вектор початкових умов – 0. Параметри блоку графіка можуть бути скориговані після виводу зображення у вікні блоку. Порядок вводу параметрів такий:

5.3.2 Клацнути правою клавішею мишки на блоці ступінчастого сигналу. З меню вибрати пункт **Свойства**.




5.3.3 У вікні **Свойства объектов** ввести значення 0 0 1, які відповідають параметрам **Время**, **Y0**, **YK**. Між значеннями повинні бути вставлені знаки інтервалу.

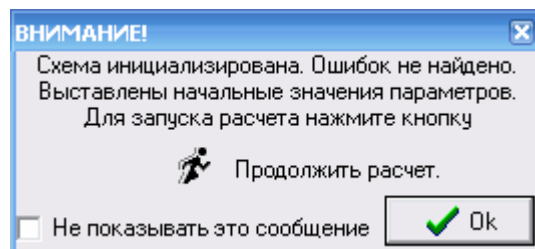
5.3.4 Вивести за допомогою правої клавіші мишки вікно **Свойства объектов** для блоку аперіодичної ланки та ввести значення коефіцієнта підсилення (K) й постійної часу (T) відповідно до варіанта завдання (див. табл.1, Додаток). Вектор початкових умов – 0.

5.3.5 Двічі клацнути лівою клавішею мишки на зображенні блоку **Временный график**. З'явиться вікно графіка.

5.3.6 Клацнути правою клавішею на зображенні вікна графіка. Вибрати позицію **Всегда впереди**.


#### 5.4 Виконання розрахунків за створеною моделлю. Одержання перехідної характеристики аперіодичної ланки

5.4.1 Ініціювати модель. Для цього вибрати кнопку й натиснути **Старт**  в панелі інструментів головного вікна чи натиснути клавішу F9 на клавіатурі. Якщо модель побудована правильно, то з'явиться повідомлення на зразок:



Якщо в моделі є помилка, то з'явиться відповідне повідомлення з відміткою на блоці, в якому можлива помилка. У цьому випадку потрібно внести виправлення в модель.

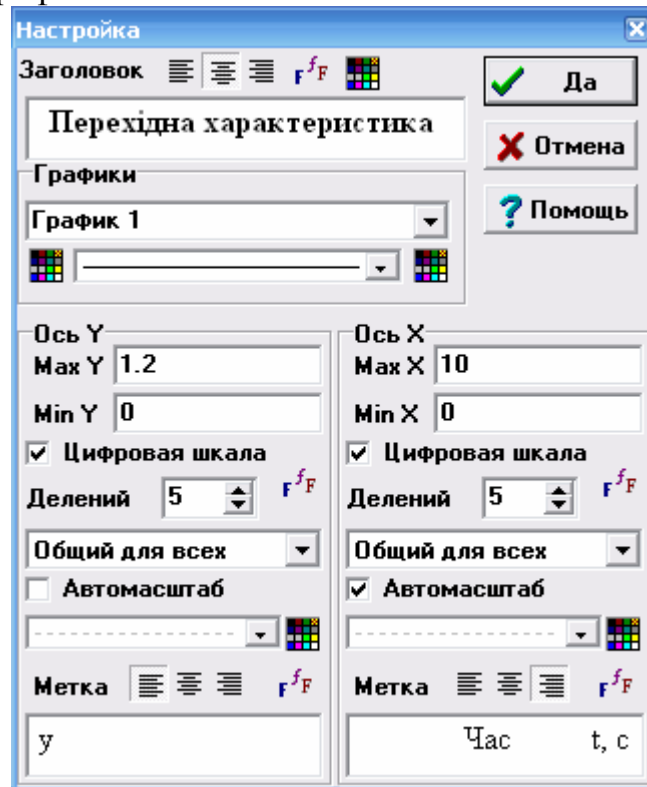
5.4.2 Закрити вікно кнопкою **OK**

5.4.3 Натиснути клавішу **Продолжить расчет**  для виконання розрахунків.

5.4.5 Проаналізувати результат розрахунку, який буде виведено на графіку.

5.4.6 У разі потреби клацнути правою клавішею на графіку й вибрати позицію меню **Авто масштаб**.

5.4.7 Масштаб можна змінити самостійно, скориставшись вікном **Настройка**, яке виводиться за допомогою пункта меню **Свойства** правої клавіші мишки вікна графіка.



5.4.8 Ввести у вікно **Настройка** назву графіка, надписи до осей, максимальні значення за осями  $x$  і  $y$ . Максимальне значення за віссю  $x$  бажано вибрати дещо більше ніж розрахована величина з тим, щоб графік не торкався краю вікна.

5.4.9 Натиснути кнопку **Да**. Розглянути й проаналізувати одержаний графік.



## **5.5 Дослідження залежності перехідної характеристики від параметрів аперіодичної ланки**

Для дослідження як залежить перехідна характеристика від параметрів ланки потрібно побудувати сімейства характеристик. Сімейства характеристик – це декілька характеристик, знятих з різними значеннями параметра. Сімейства характеристик будують для кожного параметра ланки. Оскільки аперіодична ланка має два параметри, то для неї потрібно побудувати два сімейства, а саме: для коефіцієнта підсилення і для постійної часу. Для побудови сімейства декілька разів змінюють величину одного з параметрів, залишаючи незмінними значення всіх інших параметрів, і зарисовують графіки при одних осях. Змінені значення параметрів вибирають самостійно з розрахунку, щоб одержати сімейство відображало залежність характеристики від параметра. Як правило, достатньо в сімействі відобразити характеристику при трьох значеннях параметра.

У цій роботі сімейства характеристик ланок потрібно побудувати шляхом послідовної зміни параметрів ланок і самостійної побудови графіків у звіті.

5.5.1 Змінити коефіцієнт підсилення ланки. Для цього викликати вікно **Свойства объектов** для аперіодичної ланки й поміняти значення коефіцієнта підсилення. Змінені значення вибирають кожний самостійно.

5.5.2 Виконати дії описані в п. 5.4 для виводу графіка.

5.5.3 Зарисувати одержаний графік у звіт. (Бажано спочатку тричі вивести графік при різних значеннях коефіцієнта підсилення, проаналізувати всі три графіки і вибрати потрібний масштаб, накреслити осі з вибраним масштабом, а після цього по координатах точок побудувати графіки).

5.5.4 Ще раз змінити коефіцієнт підсилення і одержати третій графік.

5.5.5 Зобразити всі три графіки у звіті в одних осях як сімейство характеристик, вказавши для кожного графіка значення параметрів ланки (коефіцієнта підсилення).

5.5.6 Встановити початкове значення коефіцієнта підсилення відповідно до варіанта завдання. Поміняти постійну часу. Величину постійної часу бажано змінити досить сильно (збільшити чи зменшити в 5 – 10 разів) для того, щоб на графіках була помітна різниця характеристик. Зарисувати графік у звіт.

5.5.7 Ще раз змінити постійну часу й зняти значення координат графіка.

5.5.8 Зарисувати сімейство перехідних характеристик при трьох різних значеннях постійної часу.

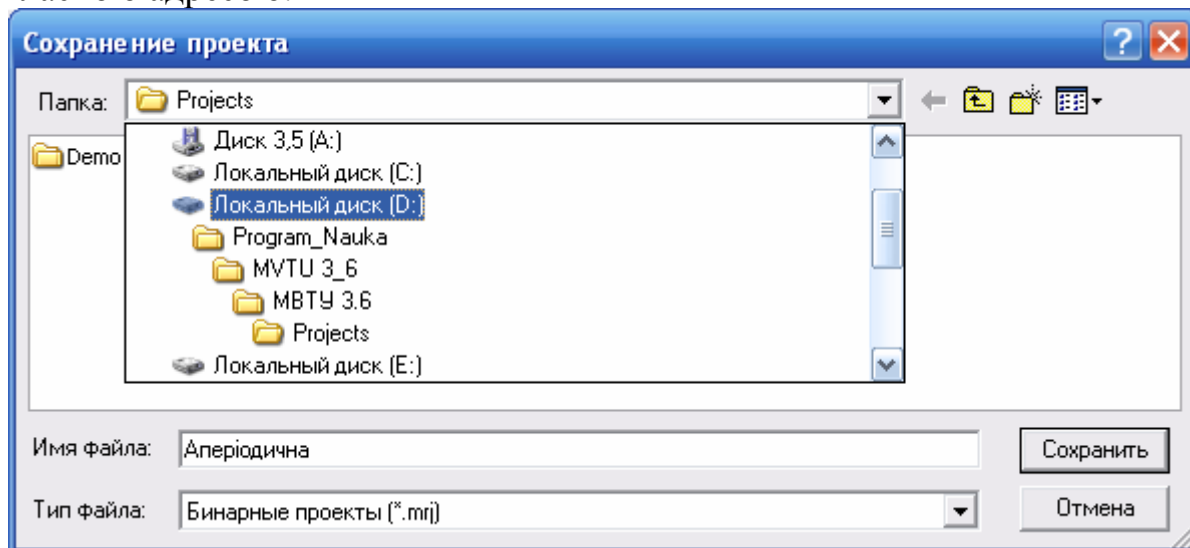
5.5.7 Проаналізувати одержані сімейства характеристик. На графіках провести дотичні на початку координат.

5.5.8 За допомогою графіків визначити параметри ланок, а саме: значення коефіцієнтів підсилення і постійних часу. Зробити висновки.

5.5.9 У звіт записати розділ: Дослідження перехідної характеристики аперіодичної ланки. Навести передатну функцію зі своїм варіантом параметрів, диференціальне рівняння ланки, схему моделі створеної на комп'ютері, графіки

двох сімейств перехідних характеристик. Описати, як за перехідними характеристиками знайти параметри ланки  $K$  і  $T$ .

5.5.10 Зберегти створену модель у власній папці. Для цього вибрати пункти меню **Файл > Сохранить** і у вікні **Сохранение проекта** вибрати папку за власною адресою.



5.5.11 У вікні **Имя файла** задати потрібне ім'я, наприклад **Аперіодична** і натиснути кнопку **Сохранить**.

5.5.12 Закрити вікно моделі.

## 5.6 Дослідження перехідної характеристики інтегруючої ланки

5.6.1 Побудувати модель, в яку входять блоки ступінчастого сигналу, інтегруючої ланки і блок побудови графіка.

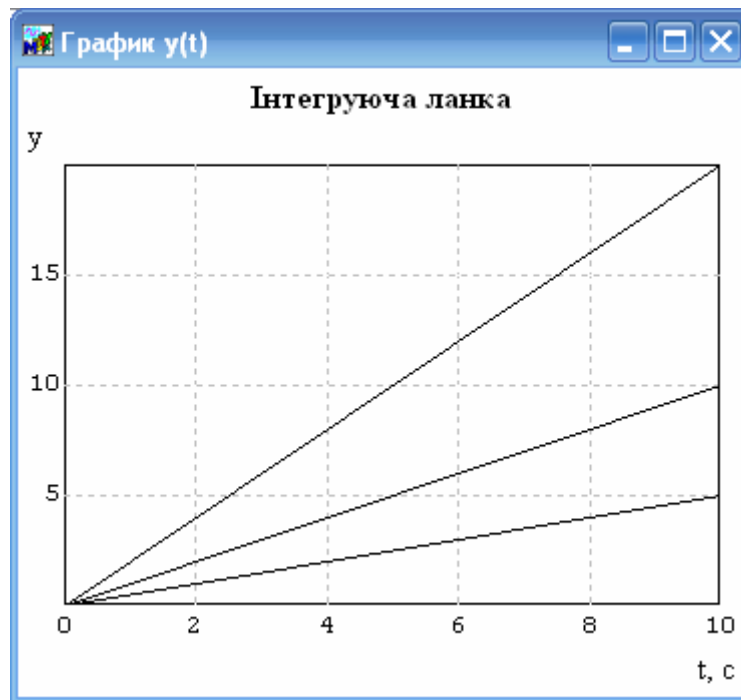
5.6.2 Ввести параметри ланки відповідно до варіанта завдання.

5.6.3 Дослідити залежність перехідної характеристики ланки від її параметрів. Вивести перехідні характеристики для трьох значень коефіцієнта підсилення (в тому числі значення згідно варіантом завдання).

5.6.4 Зарисувати сімейство характеристик й зробити висновки.

5.6.5 У звіт включити дані аналогічно як у п.5.5.9.

5.6.6 Закрити вікно моделі, можна без збереження.



## 5.7 Дослідження перехідної характеристики реальної диференційної ланки

5.7.1 Побудувати модель, в яку входять блоки ступінчастого сигналу, реальної диференційної ланки і блок побудови графіка.

5.7.2 Ввести параметри ланки відповідно до варіанта завдання.

5.7.3 Дослідити залежність перехідної характеристики ланки від її параметрів. Вивести графіки перехідних характеристик для трьох значень коефіцієнта підсилення і постійної часу.

5.7.4 Побудувати два сімейства характеристик при зміні постійної часу ланки  $T$  й при зміні коефіцієнта передачі  $K$ .

5.7.4 Зарисувати сімейство характеристик й зробити висновки.

5.7.5 У звіт включити дані аналогічно як у п.5.5.9.

5.7.6 Закрити вікно моделі можна без збереження.

## 5.8 Дослідження перехідної характеристики коливальної ланки

5.8.1 Побудувати модель, в яку входять блоки ступінчастого сигналу, коливальної ланки і блок побудови графіка.

5.8.2 Ввести параметри ланки відповідно до варіанта завдання.

5.8.3 Дослідити залежність перехідної характеристики ланки від коефіцієнта передачі  $K$ . Для цього двічі поміняти коефіцієнт підсилення (при незмінних значеннях усіх інших параметрів) й зарисувати сімейство характеристик з трьох графіків.

5.8.4 Встановити початкове значення коефіцієнта підсилення. Вивести графіки перехідних характеристик для трьох значень постійної часу  $T$  й зарисувати сімейство характеристик.



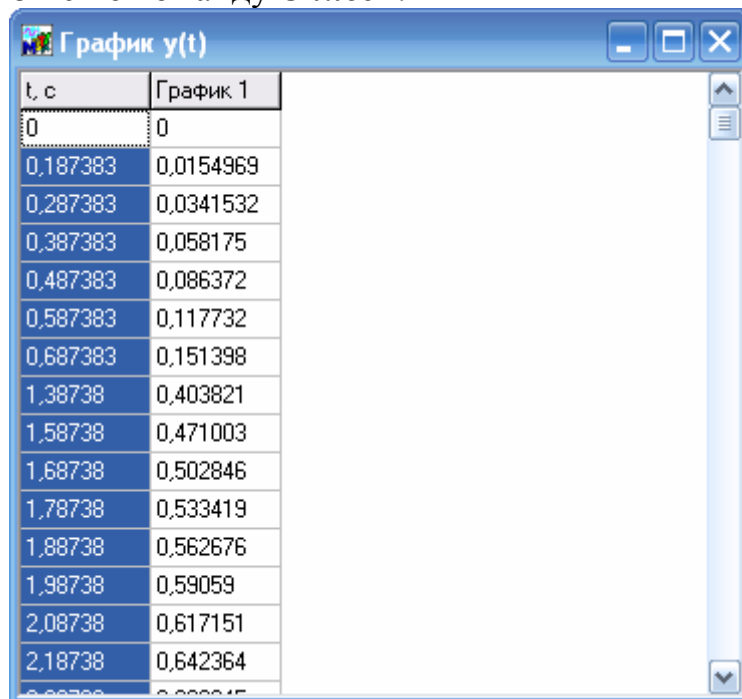
5.8.5 Встановити початкове значення постійної часу й побудувати сімейство характеристик при трьох значеннях постійної загасання  $D$  в інтервалі  $0,1 - 0,8$ .

5.8.6 Побудувати ще одне сімейство характеристик із значеннями постійної загасання рівними 0; 1 і 3. Зарисувати сімейство характеристик у звіт.

5.8.7 Оформити звіт за результатами дослідження коливальної ланки аналогічно рекомендаціям, наведеним у п.5.5.9.

Оскільки графіки характеристик коливальної ланки мають складний вигляд, то для побудови сімейств перехідних характеристик можна використати, наприклад, електронну таблицю. Для цього дані, за якими будують графіки, потрібно зберегти в табличній формі. Далі наведено рекомендації, згідно з якими можна записати числові дані й побудувати графіки в електронній таблиці Excel.

- Завантажити електронну таблицю Excel.
- Відкрити нову книгу й зберегти її під іменем, наприклад, Лабораторна 1, у власному каталозі.
- Перейти у вікно моделі ПК МВТН.
- Клацнути правою клавішею мишки на полі графіка.
- Вибрати з меню команду **Список**.



t, c	График 1
0	0
0,187383	0,0154969
0,287383	0,0341532
0,387383	0,058175
0,487383	0,086372
0,587383	0,117732
0,687383	0,151398
1,38738	0,403821
1,58738	0,471003
1,68738	0,502846
1,78738	0,533419
1,88738	0,562676
1,98738	0,59059
2,08738	0,617151
2,18738	0,642364
2,28738	0,66645

- У списку виділити першу колонку ( $t, c$ ) й вибрати команду **Копіювати** контекстного меню правої клавіші мишки.
- Перейти у вікно електронної таблиці й встановити курсор на другій клітинці першої колонки. (В першому рядку потрібно буде записати позначення, дані якої колонки графіка записано в стовпчику.)

- Вставити щойно скопійовані значення.
- Перейти до вікна графіка моделі й скопіювати другу колонку (График 1).
- Повернутись в електронну таблицю й вставити в другу колонку скопійовані значення.
- У першому рядку колонок електронної таблиці записати позначення колонок.
- Повернутись у вікно графіка (тепер воно з табличними даними), викликати меню правої клавіші мишка й зняти значок з команди **Список**.
- Змінити дані ланки, вивести відповідний графік і аналогічним чином скопіювати значення обох колонок у наступні колонки сторінки електронної таблиці. Кожен раз потрібно переносити значення обох колонок і вводити відповідні назви колонок.
- По закінченні дослідження зберегти файл електронної таблиці.
- Для побудови графіків потрібно в електронні таблиці користуватись пунктом **Точечная диаграмма** і для кожного графіка вводити значення за віссю  $x$  і за віссю  $y$ . Підібравши потрібним чином дані можна побудувати всі сімейства характеристик за допомогою електронної таблиці.
- Результати, записані у книгу електронної таблиці, можна скопіювати на диск з комп'ютера викладача.

## 6. Звіт з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи рекомендується виконувати на подвійних аркушах зошита в клітинку, або, в разі використання комп'ютера, на стандартних аркушах формату А4.

6.1. Звіт повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця і номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).

6.2. Дальші сторінки звіту повинні містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Розділи: Дослідження перехідної характеристики аперіодичної ланки та всіх інших ланок.
- У кожному розділі потрібно навести передатну функцію зі своїм варіантом параметрів, диференціальне рівняння ланки й схему моделі, створеної на комп'ютері. Розділи містять також графіки сімейств перехідних характеристик для кожного параметра ланки.
- У кожному розділі потрібно описати, як за перехідними характеристиками знайти параметри ланки.
- Висновок про характер перехідної характеристики ланки і як вона змінюється при зміні параметрів ланки.

6.3. Графічний матеріал, який потрібно розмістити у звіті:

- Сімейство перехідних характеристик аперіодичної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Сімейство перехідних характеристик аперіодичної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство перехідних характеристик інтегруючої ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство перехідних характеристик реальної диференційної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство перехідних характеристик реальної диференційної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Сімейство перехідних характеристик коливальної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство перехідних характеристик коливальної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Два сімейства перехідних характеристик коливальної ланки при трьох значеннях постійної затухання.

**7. Контрольні запитання**

- 7.1. Дайте визначення системи автоматичного керування.
- 7.2. Поясніть основні принципи керування.
- 7.3. За якими ознаками класифікують САК? Наведіть приклади класифікації САК за різними ознаками.
- 7.4. Що являють собою функціональна й структурна схеми САК?
- 7.5. Які типи динамічних ланок САК ви знаєте?
- 7.6. Запишіть передатні функції типових динамічних ланок.
- 7.7. Який вигляд мають перехідні характеристики типових динамічних ланок?
- 7.8. Як знайти передаточні функції динамічних ланок за експериментальним графіком перехідної характеристики?

## Лабораторна робота № 2

### *Вивчення частотних характеристик динамічних ланок систем автоматичного керування*

#### 1. Мета роботи

Набуття навичок побудови й аналізу частотних характеристик САК за допомогою ПК МВТУ.

Вивчення частотних характеристик типових динамічних ланок САК.

#### 2. Обладнання для виконання роботи

Роботу виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows;
- програмний комплекс: «Моделирование в технических устройствах» (ПК МВТУ).
- офісний пакет програм Microsoft Office.

#### 3. Підготовка до лабораторної роботи

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і матеріал практичних занять, а саме:

- Типові динамічні ланки САК. Передатні функції ланок.
- Комплексна передаточна функція. Комплексні частотні функції.
- Частотні характеристики; АЧХ, ФЧХ, АФЧХ, ЛАЧХ, ЛФЧХ основних типів динамічних ланок.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір, дискету для збереження результатів в електронній формі.

#### 4. Завдання до лабораторної роботи

- 4.1. Навчитись будувати частотні характеристики динамічних ланок.
- 4.2. Дослідити залежність характеристик аперіодичної ланки від величини коефіцієнта підсилення  $K$  і постійної часу  $T$ . Побудувати два сімейства ЛАЧХ, ЛФЧХ і АФЧХ для різних  $K$  і  $T$ .
- 4.3. Дослідити залежність частотних характеристик інтегруючої ланки від коефіцієнта підсилення  $K$ . Побудувати сімейство характеристик.
- 4.4. Дослідити залежність характеристик реальної диференційної ланки від величини коефіцієнта підсилення  $K$  і постійної часу  $T$ . Побудувати два сімейства ЛАЧХ, ЛФЧХ та АФЧХ для різних  $K$  і  $T$ .
- 4.5. Дослідити залежність ЛАЧХ, ЛФЧХ та АФЧХ коливальної ланки від коефіцієнта підсилення  $K$  й величини постійної часу  $T$ .
- 4.6. Дослідити залежність частотних характеристик коливальної ланки від величини коефіцієнта загасання  $D$ . Побудувати два сімейства ЛАЧХ,

ЛФЧХ і АФЧХ для таких значень коефіцієнта підсилення: перше сімейство при  $D = 0,8; 0,1$  і  $0,02$ . Друге сімейство при  $D = 1; 5$  та  $20$ .

4.7. Розрахувати значення коефіцієнтів двох аперіодичних ланок 1-го – порядку, що замінюють коливальну ланку 2-го порядку при  $D=20$ . Побудувати структурну схему і дослідити ЛАЧХ, ЛФЧХ та АФЧХ.

4.8. За експериментально отриманими графіками визначити постійні часу, коефіцієнти підсилення ті постійну загасання ланок і порівняти значення з фактичними величинами.

## 5. Хід виконання лабораторної роботи

### 5.1. Підготовка до виконання роботи

5.1.1. Ввімкнути персональний комп'ютер. Завантажити операційну систему і програмний комплекс МВТУ.

5.1.2. Проконтролювати завантаження пакету програм. Відкрити схемне вікно нової моделі.

5.1.3. Побудувати модель, що складається зі синусоїдального сигналу, аперіодичної ланки й осцилографа.


### 5.2. Побудова моделі

5.2.1. Вивести на вільне місце схемного вікна блок синусоїдального сигналу, аперіодичної ланки та осцилографа.

5.2.2. Ввімкнути сітку і вирівняти блоки.

5.2.3. З'єднати вихід сигналу зі входом аперіодичної ланки.

5.2.4. Встановити параметри аперіодичної ланки відповідно до варіанту завдання (див. табл.1, Додаток).

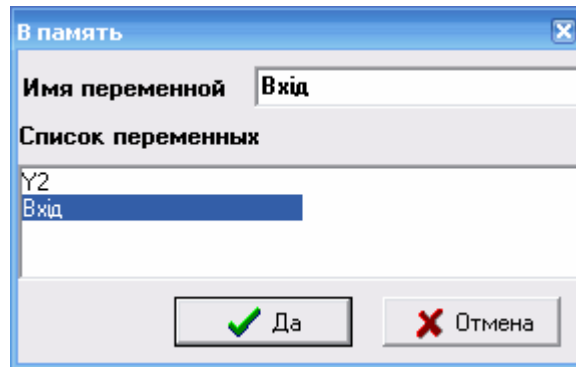
5.2.5. Додатково ввести два блоки збереження сигналів в пам'яті (**В пам'яті** ). Блоки пам'яті служать для отримання частотних характеристик і збереження даних. Порядок введення такий.

5.2.6. Вибрати з лінійки бібліотеки розділ **Субструктури**.

5.2.7. Вибрати блок **В пам'яті**  та перемістити у вікно побудови моделі, розмістивши дещо вище блока аперіодичної ланки.

5.2.8. Повторно вибрати й перемістити у вікно моделі ще один такий же блок ті розмістити правіше щойно введеного.

5.2.9. Замінити назви блоків Y1 і Y2 на **Вхід** і **Вихід**. Для цього двічі клацнути лівою клавішею мишки в першому вікні **В пам'яті** ті ввести у рядок: **Имя переменной** текст: **Вхід**.

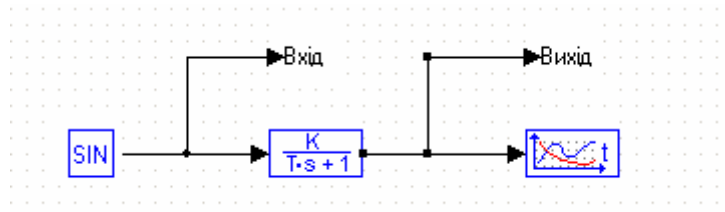


5.2.10. Аналогічно в другий блок ввести назву змінної ***Вхїд***.

5.2.11. З'єднати лінію сигналу між блоком синусоїдального сигналу та блоком аперіодичної ланкою зі входами першого блоку з іменем ***Вхїд***. Для виконання з'єднання розмістити курсор на лінії сигналу між блоками, натиснути клавішу ***Ctrl***, і клацнути лівою клавішею мишки. Не відпускаючи клавіші, провести коротку вертикальну лінію відводу сигналу. Для повороту лінії довести її до рівня блоку, відпустити клавішу, повторно її натиснути й зробити поворот під кутом 90 градусів.

Зауваження. У випадку, коли під час проведення лінії зроблено невірні дії і лінія залишається приєднаною до курсора і повторює всі його переміщення, для обриву лінії натиснути клавішу Shift на клавіатурі й клацнути лівою клавішею мишки.

5.2.12. Аналогічно з'єднати вхід другого блоку з вихідним сигналом аперіодичної ланки.



5.2.13. У результаті модель матиме вигляд, показаний на рисунку.

### 5.3. Побудова частотних характеристик аперіодичної ланки

5.3.1. Ініціювати модель, натиснувши інструмент ***Старт*** в основному меню програмного комплексу. В разі незадовільної відповіді виправити модель.

5.3.2. Вибрати команду **Анализ > Частотный анализ** та вивести вікно **Параметры частотного анализа**

**Параметры частотного анализа**

Начальная частота:

Конечная частота:

Число точек вывода:

Приращение для Якобиана

Относительное:

Абсолютное:

№	Входы	Выходы	Характеристика
1	Вхід	Вихід	ЛАХ
2	Вхід	Вихід	ФЧХ

5.3.3. Заповнити вікно частотного аналізу за зразком. Початкову частоту аналізу вибрати  $1e-3(0,001)$  в рад/с, кінцеву частоту  $1e3(1000)$ , кількість точок 250. (Десяткові розряди відділяють крапкою!) Розділ **Приращение Якобиана** – не змінювати.

5.3.4. В області **Создать окно** вибрати й натиснути лівою клавішею мишки кнопку **Характеристик**. Після цього на екрані з'явиться вікно частотних характеристик ЛАХ і ФЧХ, а у вікні **Параметры частотного анализа** з'явиться нижня частина, показана на рисунку.

5.3.5. Ввести в розділ опису точок вводу й характеристик два записи,

двічі натиснути кнопку зі значком додавання записів .

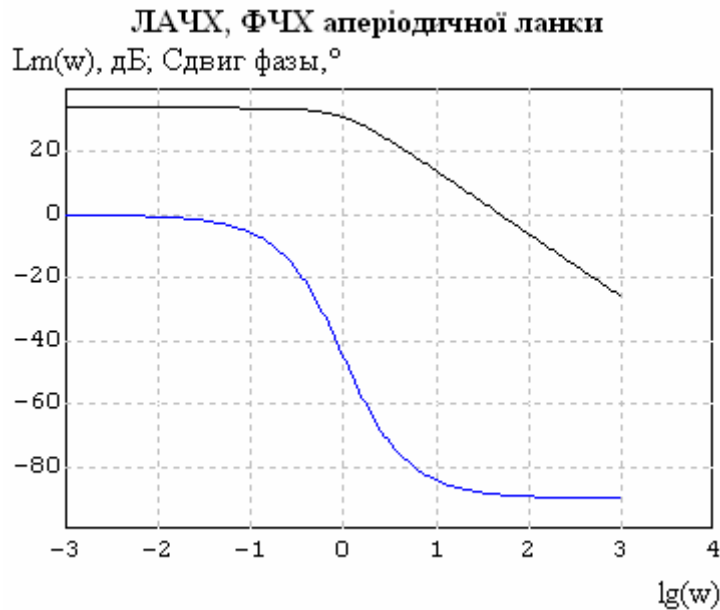
5.3.6. У перший рядок колонки **Входы** ввести позначення **Вхід**. Його вибирають зі списку, який появляється при натисканні скритої кнопки керування розміщеної у вікні **Входы** рядка 1 таблиці.

5.3.7. У колонку **Выходы** ввести аналогічним чином назву блоку пам'яті **Вихід**.

5.3.8. У колонку **Характеристика** ввести в перший рядок – ЛАХ, у другий – ФЧХ. Виконаними діями задаються параметри частотних характеристик. Після цього можна приступати безпосередньо до виводу характеристик та їх аналізу.

5.3.9. Натиснути кнопку **Расчет** .

5.3.10. Проаналізувати одержаний графік. Вивести вікно **Свойства** (меню правої клавіші) й ввести заголовок ЛАЧХ, ФЧХ аперіодичної ланки.



5.3.11. Зарисувати графік у звіт. Логарифмічну частотну характеристику зарисувати у верхній частині аркуша, фазово-частотну окремо на цьому ж аркуші паперу під ЛАЧХ. Для кожної характеристики вказати значення коефіцієнтів.

5.3.11.1. Зображення можна скопіювати у текстовий файл.

5.3.11.2. Для цього відкрити вікно текстового редактора Word. Відкрити у ньому новий документ і зберегти його у власній папці за адресою D:/ET\_TAK\_3k/ETRV/Сидоров.

5.3.11.3. Повернутись у вікно моделі, розмістити курсор на графіку, клацнути правою клавішею мишки ті з випадального меню вибрати команду **Копировать**.

5.3.11.4. Повернутись у вікно документа, створеного в текстовому редакторі, та вставити зображення.

5.3.11.5. До зображення додати надпис з назвою характеристик й параметрами ланки, набравши його за допомогою клавіатури.

5.3.12. Повернутись у вікно **Параметры частотного анализа**.

5.3.13. У розділі **Создать окно** натиснути клавішу **Годографов**.

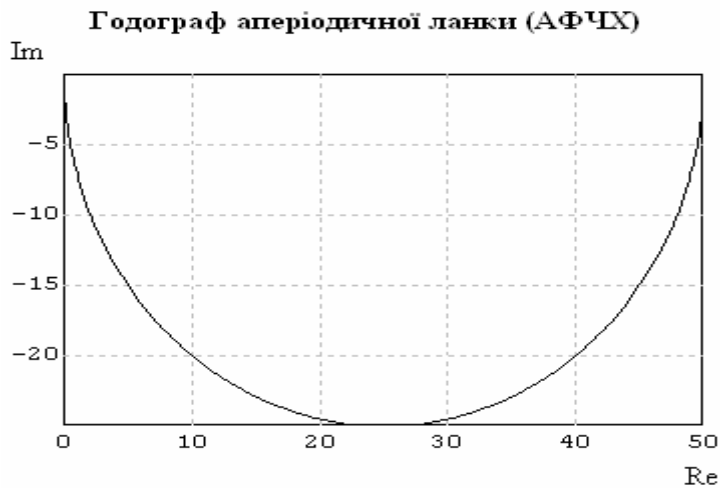
5.3.14. Заповнити розділ опису точок вводу й виводу і назву характеристики. Для цього:

5.3.15. Раз натиснути кнопку з додаванням рядків ті вибрати відповідно **Вхід**, **Вихід** та характеристику **Найквиста**.

№	Входы	Выходы	Характеристика
1	Вхід	Вихід	Найквиста

5.3.16. Натиснути кнопку **Расчет**  Расчет.





5.3.17. Проаналізувати характеристику. Ввести заголовок з назвою «Годограф аперіодичної ланки (АФЧХ)».

5.3.18. Зарисувати характеристику у звіт.

#### **5.4. Дослідження залежності частотних характеристик аперіодичної ланки від її параметрів**

Під час дослідження аперіодичної та інших ланок потрібно побудувати сімейства характеристик (як мінімум по три характеристики в сімействі) й зробити висновок відносно зміни характеристики при зміні кожного параметра ланки. Це робиться послідовним виводом частотних характеристик з різними параметрами ланки та їх перенесенням у звіт.

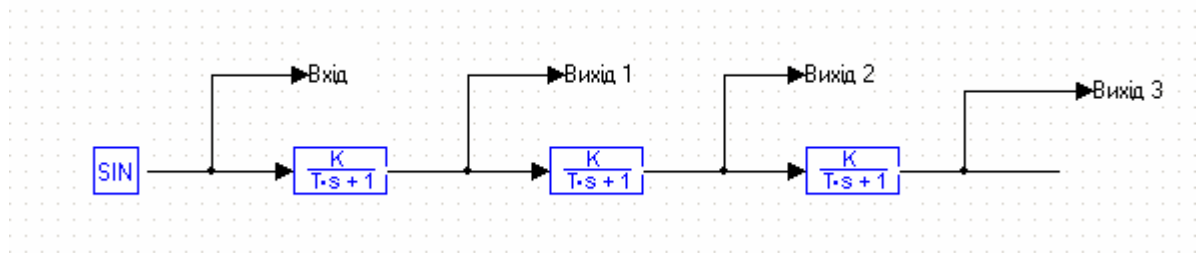
Для спрощення побудови сімейств характеристик можна скористатись тим, що блоки пам'яті, введені для побудови частотних характеристик, є незалежними й у схемі їх може бути скільки потрібно. Частотні характеристики ділянки структурної схеми визначають самостійно між вказаними блоками і не залежать від того, в яку схему входять ділянки. Зваживши на це, можна дещо спростити побудову сімейств частотних характеристик. Оскільки в сімейство потрібно включити три графіки для ланок одного типу з різними значеннями параметрів, то можна побудувати структурну схему, в яку входять три ланки ввести потрібні параметри й вивести в одних осях частотні характеристики усіх ланок. Далі розглянуто один з можливих методів побудови сімейства частотних характеристик.

5.4.1. Побудувати структурну схему, що складається з синусоїдального сигналу і послідовно ввімкнутих трьох аперіодичних ланок. Вихід останньої ланки можна обірвати або вставити блок часового графіка.

5.4.2. Для обриву лінії потрібно натиснути клавішу Shift й, утримуючи її, клацнути мишкою. ( У разі відсутності блоку графіка вихідну лінію з останнього блоку потрібно обов'язково провести і обірвати, інакше програма буде визначати помилку в схемі і заблокує розрахунки).

5.4.3. Між усіма ланками й між блоком сигналу та першою ланкою вставити блоки **В пам'ять**.

5.4.4. Ввести найменування блоків, як то: **Вхід**, **Вихід 1**, **Вихід 2**, **Вихід 3**.



5.4.5. Встановити такі параметри ланок: для першої ланки – згідно з варіантом завдання, для двох наступних – різні значення коефіцієнта підсилення, за власним бажанням, при тих же значеннях постійної часу. (Баžано щоб коефіцієнти підсилення ланок відрізнялись у декілька разів, щоб графіки не зливались і була помітна різниця логарифмічних характеристик).

5.4.6. Ініціювати модель.

5.4.7. За допомогою меню **Анализ > Частотный анализ** вивести вікно **Параметры частотного анализа**.

5.4.8. Рекомендується встановити нижню частоту 1E-3, верхню частоту 1E3 а кількість точок – 100.

5.4.9. Створити вікно **Характеристик**.

5.4.10. У вікні характеристик ввести шість характеристик між відповідними блоками **В пам'ять** – три ЛАХ і три ФЧХ.

5.4.11. Характеристики виводять між точками **Вхід - Вихід 1; Вихід 1 - Вихід 2; Вихід 2 - Вихід 3**. Порядок вводу параметрів характеристик показано на рисунку.

№	Входы	Выходы	Характеристика
1	Вхід	Вихід 1	ЛАХ
2	Вхід	Вихід 1	ФЧХ
3	Вихід 1	Вихід 2	ЛАХ
4	Вихід 1	Вихід 2	ФЧХ
5	Вихід 2	Вихід 3	ЛАХ
6	Вихід 2	Вихід 3	ФЧХ

5.4.12. Натиснути кнопку **Расчет** й одержати сімейство характеристик аперіодичної ланки з різними коефіцієнтами підсилення.

5.4.13. Зарисувати графіки у звіт. Потрібно окремо зарисувати амплітудно-частотні характеристики, а безпосередньо під ними фазово-частотні. Осі логарифмів частоти повинні мати однакові масштаби і бути розміщені одна під другою. Всі графіки сімейства рисують на одному аркуші паперу.

5.4.13.1. Рекомендується скопіювати рисунок у текстовий файл, як описано в пунктах 5.3.11.3 – 5.3.11.5. Перед копіюванням баžано змінити жовтий колір графіка на більш темний, оскільки жовтий колір погано сприймається. Для зміни кольору вивести властивості графіка, вибрати графік, який має жовтий

колір і за допомогою мозаїчної панелі рядом зі зразком кольору змінити жовтий колір на більш темний.

- 5.4.13.2. Можна скопіювати числові значення в електронну таблицю й побудувати графіки за допомогою електронної таблиці. Числові значення виводять за допомогою меню **Список** правої клавіші мишки на графіку. (При копіюванні числових значень виникає ряд проблем, пов'язаних з тим, що границі таблиці не визначені і під час копіювання дані сприймаються як текстовий файл, а розділовим знаком розрядів є крапка, а не кома, як прийнято в українських документах. Обійти ці труднощі можна, якщо спочатку дані скопіювати в текстовий файл, перетворити їх у таблицю, виконати заміну крапки на кому і тільки після цього вставити дані в електронну таблицю. Графіки в електронній таблиці потрібно будувати як точкові діаграми. За віссю абсцис слід вибирати логарифмічний масштаб).
- 5.4.14. Вивести вікно годографів й задати три рядки параметрів **Вхід** та **Вихід 1**; **Вихід 1** і **Вихід 2**; **Вихід 2** і **Вихід 3** і розрахунок годографів Найквіста.
- 5.4.15. Зарисувати годографи у звіт. Підписати – **Амплітудно-фазові частотні характеристики**. Для кожного графіка вказати значення коефіцієнтів ланки.
- 5.4.16. Для дослідження залежності характеристик аперіодичної ланки від постійної часу й побудови сімейства характеристик закрити вікно частотних характеристик, вибравши команду **Да** у вікні **Параметри частотного аналізу**.
- 5.4.17. Встановити у структурній схемі для першої аперіодичної ланки коефіцієнти відповідно до варіанта завдання. Для другої та третьої ланок – коефіцієнти підсилення рівними значенню, що відповідає варіанту завдання, а постійні часу задати різними. Значення постійних часу вибирають довільно, бажано такими, щоб вони відрізнялись в декілька разів (щоб графіки виводились окремо, а не зливались).
- 5.4.18. Вивести сімейство графіків, так само як при дослідженні залежності від коефіцієнта підсилення.
- 5.4.19. Зарисувати характеристики в звіт. Логарифмічні частотні характеристики окремо а фазово-частотні безпосередньо під ними.
- 5.4.20. Проаналізувати характеристики й зробити висновки.
- 5.4.21. Записати у звіт, яким чином змінюються частотні характеристики аперіодичної ланки при зміні постійної часу.
- 5.4.22. Закрити вікно частотних характеристик.
- 5.4.23. Зберегти створену модель у власній папці, присвоївши їй назву, наприклад «Частотні аперіодичної ланки».

### **5.5. Дослідження частотних характеристик інтегруючої ланки**

- 5.5.1. Побудувати структурну схему, аналогічну як для дослідження властивостей аперіодичної ланки ( див. п.5.4.4).
- 5.5.2. Встановити коефіцієнт передачі  $K$  відповідно до варіанта в першій ланці значення за бажанням студента в інші ланки.
- 5.5.3. Перейти до режиму аналізу частотних характеристик.
- 5.5.4. Задати параметри аналізу такі, щоб одержати сімейство трьох логарифмічних частотних характеристик і фазочастотних.
- 5.5.5. Виконати команду **Счет** й вивести частотні характеристики.
- 5.5.6. Зарисувати частотні характеристики у звіт. Амплітудно частотні характеристики будують у верхній частині аркуша, а фазово-частотні у нижній.
- 5.5.7. Викликати вікно побудови годографа.
- 5.5.8. Побудувати годограф та зарисувати у звіт.
- 5.5.9. Пояснити залежність частотних характеристик інтегруючої ланки від коефіцієнта передачі.
- 5.5.10. Закрити вікна побудови частотних характеристик.
- 5.5.11. Зберегти файл моделі.

### **5.6. Дослідження частотних характеристик реальної диференційної ланки**

- 5.6.1. Побудувати структурну схему, в яку входить реальна диференційна ланка (можна замінити інтегруючі ланки реальною диференційною).
- 5.6.2. Встановити коефіцієнт передачі  $K$  й постійну часу  $T$  відповідно до варіанта в першій ланці. Значення коефіцієнта підсилення інших ланок вибрати за бажанням студента, а постійні часу такими ж як і у першій ланці.
- 5.6.3. Перейти до режиму аналізу частотних характеристик.
- 5.6.4. Задати параметри аналізу такі, щоб одержати сімейство трьох логарифмічних частотних та трьох фазово-частотних характеристик диференційних ланок з різними коефіцієнтами передачі.
- 5.6.5. Виконати команду **Счет** та вивести частотні характеристики.
- 5.6.6. Зарисувати частотні характеристики у звіт. Амплітудно частотні характеристики будуються у верхній частині аркуша, а фазово-частотні у нижній.
- 5.6.7. Викликати вікно побудови годографів.
- 5.6.8. Побудувати годографи й зарисувати у звіт.
- 5.6.9. Для побудови сімейств частотних характеристик реальної диференційної ланки з різними постійними часу повернутися до структурної схеми і встановити бажані значення постійної часу (постійна часу однієї з ланок повинна відповідати варіанту завдання).
- 5.6.10. Побудувати сімейства частотних характеристик й годографа і зарисувати їх у звіт.

- 5.6.11. Пояснити залежність частотних характеристик реальної диференційної ланки від коефіцієнта передачі й постійної часу.
- 5.6.12. Закрити вікна побудови частотних характеристик.
- 5.6.13. Зберегти файл моделі.

### **5.7. Дослідження частотних характеристик коливальної ланки**

- 5.7.1. Побудувати структурну схему, в яку входять коливальні ланки.
- 5.7.2. Встановити в першій ланці коефіцієнт передачі  $K$  й постійну часу  $T$  та постійну затухання  $D$  відповідно до варіанта. Значення коефіцієнта підсилення інших ланок вибрати за бажанням студента, а постійні часу  $T$  й постійну затухання  $D$  такими ж, як і у першій ланці.
- 5.7.3. Перейти до режиму аналізу частотних характеристик.
- 5.7.4. Задати параметри аналізу й одержати сімейство трьох логарифмічних частотних і трьох фазово-частотних характеристик.
- 5.7.5. Зарисувати частотні характеристики у звіт. Амплітудно частотні характеристики будують у верхній частині аркуша, а фазово-частотні у нижній.
- 5.7.6. Викликати вікно побудови годографів тй побудувати годографи. Проаналізувати годографи і в разі, якщо графіки мають спотворений вигляд і зображаються відрізками прямих ліній у вікні, **Параметри частотного аналізу** встановити **Число точок вивода** рівним 1000.
- 5.7.7. Зарисувати годографи у звіт.
- 5.7.8. Закрити вікна частотних характеристик.
- 5.7.9. Для побудови сімейства частотних характеристик з різними постійними часу в структурній схемі встановити для трьох ланок різні постійні часу, а коефіцієнти передачі й постійні затухання встановити відповідно до варіанта завдання.
- 5.7.10. Побудувати логарифмічні амплітудно-частотні, фазово-частотні й амплітудно фазові частотні характеристики.
- 5.7.11. Зарисувати характеристики у звітй робити висновок відносно залежності їх від величини постійної часу.
- 5.7.12. Дослідити залежність частотних характеристик від постійної затухання. Побудувати два сімейства характеристик: перше при значеннях постійної затухання  $D = 0,5; 0,1; 0,02$ , друге при  $D = 1; 5; 20$ .

### **5.8. Дослідження характеристик аперіодичної ланки другого порядку і подання цієї ланки двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками першого порядку.**

- 5.8.1. Розрахувати корені знаменника передаточної функції коливальної ланки  $(p_1, p_2)$ , в якій коефіцієнти  $T$  і  $K$  відповідають варіанту завдання, а постійна затухання  $D = 20$ .

5.8.2. Записати формулу передаточної функції рівняння у вигляді

$$W(p) = \frac{K}{\left(\frac{p}{p_1} - 1\right)\left(\frac{p}{p_2} - 1\right)} = \frac{K}{(T_1 p - 1)} * \frac{1}{(T_2 p - 1)}.$$

Тут  $p_1, p_2$  - корені характеристичного поліному (знаменника передаточної функції),

$T_1, T_2$  – постійні часу, рівні  $\frac{1}{p_1}$  та  $\frac{1}{p_2}$ .

5.8.3. Побудувати структурну схему, в яку входить блок джерела синусоїдального сигналу, два блоки послідовно з'єднаних аперіодичних ланок, з параметрами розрахованими відповідно до вище приведеної формули, та блок часового графіка.

5.8.4. Вивести два блоки **В пам'ять** відповідно перед ланками і після них.

5.8.5. Вивести частотні характеристики для ділянки, яка включає дві аперіодичні ланки.

5.8.6. Порівняти одержані частотні характеристики з частотними характеристиками коливальної ланки при  $D = 20$ . Зробити висновки.

5.8.7. Зарисувати частотні характеристики.

5.8.8. Зберегти створену модель у власній папці.

5.8.9. Показати результати виконаної лабораторної роботи викладачу.

5.8.10. виправити виконану роботу відповідно до зауважень викладача.

5.8.11. У випадку, коли зауважень викладача не буде, закрити вікна та вийти з ПК МВТУ.

5.8.12. В поза аудиторний час оформити звіт з лабораторної роботи й підготуватись до його захисту.

## 6. Звіт з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи рекомендується виконувати на подвійних аркушах зошита в клітинку, або, в разі використання комп'ютера, на стандартних аркушах паперу формату А4.

6.1. Звіт повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця й номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).

6.2. Дальші сторінки звіту повинні містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Розділи: Дослідження перехідної характеристики аперіодичної ланки та усіх інших ланок.
- У кожному розділі потрібно привести комплексну передатну функцію ланки зі своїм варіантом параметрів, амплітудно частотну та фазово частотні функції.
- Розділи містять також графіки сімейств перехідних характеристик для кожного параметра ланки.

- У кожному розділі потрібно зробити висновок: як перехідна характеристика залежить від параметрів ланки.

### 6.3. Графічний матеріал, який потрібно розмістити у звіті;

- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ аперіодичної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ аперіодичної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ інтегруючої ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ реальної диференційної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ реальної диференційної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ коливальної ланки при трьох значеннях коефіцієнта підсилення.
- Сімейство ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ коливальної ланки при трьох значеннях постійної часу.
- Два сімейства ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ коливальної ланки при трьох значеннях постійної затухання.
- ЛАЧХ, ЛФЧХ й АФЧХ двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок.

## 7. Контрольні запитання

- 7.1. Дайте визначення амплітудно-частотної і фазово-частотної характеристик.
- 7.2. Який фізичний зміст амплітудно-частотної і фазово-частотної характеристик САК?
- 7.3. Як побудувати амплітудно фазову частотну характеристику?
- 7.4. Як будують логарифмічні частотні характеристики САК?
- 7.5. Що таке комплексна передаточна функція?
- 7.6. Запишіть комплексні передатні функції динамічних ланок.
- 7.7. Які частотні функції ви знаєте? Дайте їх визначення.
- 7.8. У чому перевага логарифмічних частотних характеристик?
- 7.9. Які асимптоти має аперіодична і коливальна ланки?
- 7.10. Чому дорівнює максимальний зсув фаз підсилювальної ланки?
- 7.11. Які частоти називають резонансною, граничною, частотою спряження?
- 7.12. Нарисуйте частотні характеристики типових динамічних ланок.

### **3. Лабораторна робота № 3**

#### *Дослідження стійкості розімкнутої і замкнутої систем автоматичного керування за критерієм Найквіста*

##### **1. Мета роботи**

Набуття навичок аналізу стійкості САК за допомогою ПК МВТУ. Дослідження перехідних процесів у стійких і нестійких САК. Вивчення стійкості згідно з частотними критеріями. Експериментальне знаходження меж стійкості.

##### **2. Обладнання для виконання роботи**

Роботу виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows;
- програмний комплекс: «Моделирование в технических устройствах».
- офісний пакет програм Microsoft Office.

##### **3. Підготовка до виконання роботи**

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і матеріал практичних занять, а саме:

- Умови стійкості САК.
- Передаточна, комплексна передаточна функції і частотні характеристики САК.
- Критерії стійкості.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір, дискету для збереження результатів в електронній формі.

##### **4. Завдання до лабораторної роботи**

- 4.1. Побудувати модель системи автоматичного керування обертами двигуна постійного струму.
- 4.2. Одержати перехідну характеристику та перевірити стійкість системи.
- 4.3. Побудувати логарифмічні частотні характеристики розімкнутої системи, знайти зсув фаз на частоті зрізу та визначити стійкість системи.
- 4.4. Визначити стійкість згідно з критерієм Найквіста за виглядом ЛФЧХ розімкнутої системи.
- 4.5. Змінити коефіцієнт підсилення системи та визначити границю стійкості. Дослідити поведінку стійкої і нестійкої системи.
- 4.6. Розрахувати запас стійкості системи.



## 5. Порядок виконання лабораторної роботи

### 5.1. Побудова моделі

5.1.1. Зарисувати структурну схему системи автоматичного регулювання обертів двигуна постійного струму з незалежним збудженням (САК) відповідно до принципової схеми, показаної на рис. 1. Роботу генератора представити аперіодичною ланкою, двигуна – ланкою другого порядку (коливальною). Вхідний сигнал задати ступінчастим, а на виході, для реєстрації графіка зміни обертів двигуна, встановити блок осцилографа.

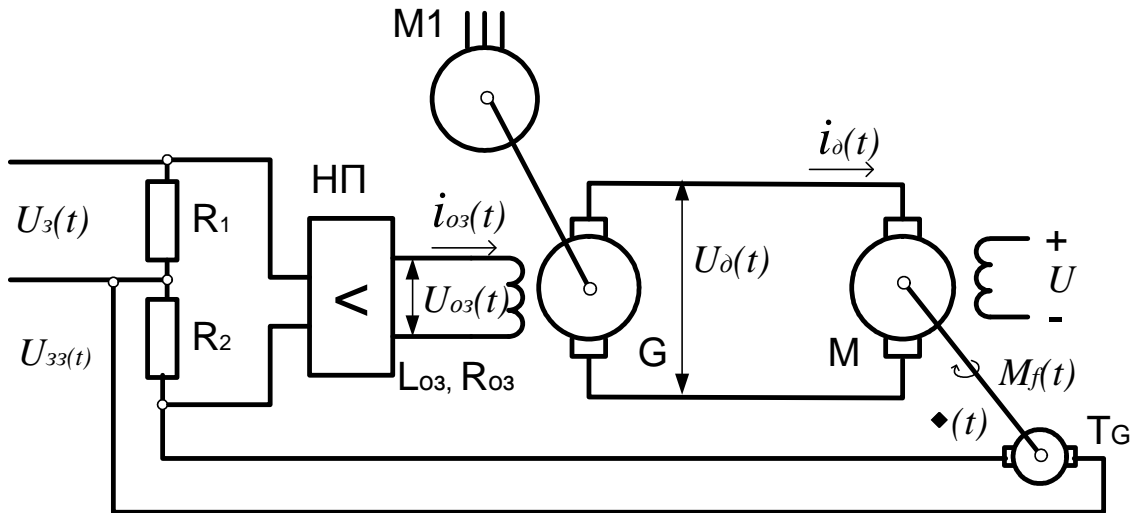


Рис. 1 – Принципова схема системи автоматичного керування швидкістю двигуна постійного струму з незалежним збудженням

5.1.2. Виписати значення параметрів вузлів системи, згідно з варіантом завдання (див. табл.2, Додаток).

5.1.3. Розрахувати параметри динамічних ланок моделі відповідно до формул поданих далі.

5.1.4. Параметри аперіодичної ланки, яка відповідає генератору:  
Постійна часу:

$$T_{\Gamma} = \frac{L_3}{R_3} = 1$$

Коефіцієнт підсилення:

$$K_{\Gamma} = \frac{\beta}{R_3} = 3.93$$

5.1.5. Двигун М2 являє собою ланку другого порядку, параметри якої визначаються коефіцієнтом підсилення, постійними часу електричної частини якоря –  $T_E$  і механічної –  $T_M$  і дорівнюють

$$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}} ; 0,119;$$

$$T_{м} = \frac{R_{я} J}{c^2} = 62.5.$$

Тут  $R_{я}$ ,  $L_{я}$  – активний та індуктивність обмотки якоря;

$c$  – постійна часу;

$J$  – момент інерції.

5.1.6. Параметри ланки, які потрібно вказати в пакеті МВТУ, розраховують за формулами:

Коефіцієнт підсилення:

$$K = \frac{1}{c} ; 12.5$$

Постійна часу:

$$T = \sqrt{T_{я} T_{м}} ; 2,73$$

Постійна затухання:

$$D = \frac{T_{м}}{2T} . = 11.45$$

№ варіанта	$L_3$ Гн	$R_3$ Ом	$\beta$	$L_{я}$ Гн	$R_{я}$ Ом	$J$ Кг м <sup>2</sup>	$C$	$K_{mg}$ * $c/B$	$K_n$
1	27	27	106	0,019	0,16	2,5	0,08	0,0019	470

5.1.7. Відкрити програмний комплекс ПК МВТУ.

5.1.8. Побудувати модель відповідно до структурної схеми.

Рекомендації щодо побудови такі:

5.1.9. Як суматор напруги на вході напівпровідникового підсилювача (НП) слід використати блок ***Сравнивающее устройство*** з розділу бібліотеки ***Операции***.

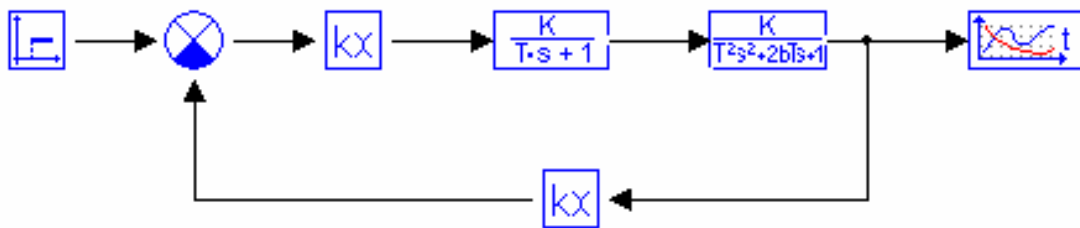
5.1.10. В якості підсилювача слід використати блок ***Усилитель Кх*** з цього ж розділу бібліотеки.

5.1.11. Для рисування відгалуження і зображення зворотного зв'язку у структурній схемі слід натиснути клавішу ***Ctrl***, розмістити курсор на лінії зв'язку й клацнути лівою клавішею мишки. Переміщуючи мишку, нарисувати відгалуження.

5.1.12. Для повороту лінії зв'язку слід клацнути лівою клавішею мишки на місці повороту, продовжити лінію у потрібному напрямку.

Зауваження. Якщо під час проведення лінії вийшли збої, лінія не з'єдналась з блоком і не можна від'єднати лінію від курсору, то потрібно натиснути клавішу **Shift** і клацнути лівою клавішею мишки. Пізніше можна виділити лінію і натиснути клавішу **Delete** на клавіатурі.

5.1.13. Встановити потрібні параметри ланок відповідно до варіанта завдання. Значення ланки **Сравнивающее устройство** повинні бути 1 -1.



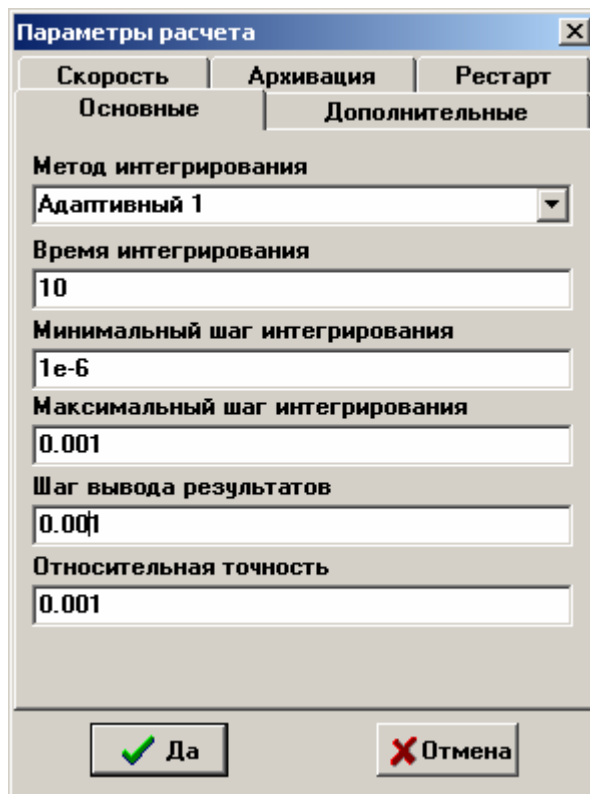
## 5.2. Дослідження перехідного процесу

5.2.1. Ініціювати модель для перевірки відповідності вимогам пакету ПК МВТУ.

5.2.2. Вивести вікно **Параметры расчета (F10)**.

5.2.3. Встановити крок інтегрування не більше 0,01 від найменшої постійної часу ланок і час інтегрування не менше трикратного значення найбільшої постійної часу ланок.

5.2.4. Виконати інтегрування і вивести графік перехідного сигналу на виході системи (графік зміни швидкості обертання валу двигуна).



5.2.5. Проаналізувати графік. У разі, якщо перехідний процес на графіку відображений не достатньо повно, чи тривалість перехідного процесу значно менша від часу інтегрування, то відповідним чином скоригувати параметри розрахунку, повторно виконати розрахунок й вивести на екран дані з режимом *Автоформатування* (двічі клацнувши лівою клавішею мишки).

5.2.6. Виконати аналіз перехідного процесу й зробити висновок про стійкість системи.

5.2.7. Якщо система не стійка, то змінити коефіцієнт підсилення підсилювача (зменшити разів в 10 чи більше)) і повторно змодельовати перехідний процес.

5.2.8. Якщо система стійка (чи стала стійка після зміни коефіцієнта підсилення), зарисувати перехідний процес у звіт, записати параметри системи і продовжити виконання лабораторної роботи.


5.2.9. Зберегти файл моделі у власному каталозі за допомогою меню *Файл > Сохранить как...*

### 5.3. Дослідження стійкості системи за логарифмічним критерієм (Найквіста)

5.3.1. Вставити блоки *В память*: перший – *Вхід* між блоком елемента порівняння і підсилювальною ланкою, другий – *Вихід* при закінченні зворотного зв'язку, між блоком тахогенератора та елементом порівняння. Порядок побудови блоків розглянуто в попередній лабораторній роботі.

5.3.2. Розірвати зворотній зв'язок у системі, встановивши множник у ланці порівняння для сигналу зворотного зв'язку рівним 0, як вказано далі.



5.3.3. Зайти у вікно блоку порівняння , відкрити вікно властивостей блоку й встановити **Весовой множитель** для другого входу рівним нулю, тобто значення (1 0).

5.3.4. Виконати команди **Анализ > Частотный анализ** та вивести вікно **Параметры частотного анализа**.

5.3.5. Встановити початкову частоту аналізу 1E-3 (0,001) та кінцеву частоту 1E3 (1000) рад/с.

5.3.6. Точок виводу задати в кількості 250.

5.3.7. Вивести вікно характеристик.

5.3.8. Задати виведення двох частотних характеристик ЛАЧХ та ФЧХ між точками **вхід** та **вихід**.

5.3.9. Натиснути кнопку **Расчет** на вивести графіки характеристик.

5.3.10. Проаналізувати логарифмічні амплітудну й фазову частотні характеристики

5.3.11. Визначити частоту зрізу і зсув фаз на цій частоті. Зробити висновок про стійкість системи згідно з логарифмічним частотним критерієм Найквіста.

5.3.12. Зарисувати частотні характеристики у звіт з лабораторної роботи. Логарифмічна амплітудно-частотна характеристика повинна знаходитись у верхній частині аркуша, а фазово-частотна – у нижній частині.

5.3.13. Визначити запас стійкості системи за коефіцієнтом підсилення  $\Delta h_K$  і за фазою  $\Delta h_\phi$ .

5.3.14. Запас стійкості за коефіцієнтом підсилення  $\Delta h_K$  визначають в децибелах, він становить величину на яку потрібно збільшити коефіцієнт підсилення системи, щоб вона знаходилась на межі стійкості. Запас стійкості за коефіцієнтом підсилення дорівнює відстані від осі логарифма частот до точки АФЧХ, на частоті, де зсув фаз -180 градусів.

Згідно з логарифмічним критерієм Найквіста, якщо система знаходиться на межі стійкості, то зсув фаз на частоті зрізу становить -180 градусів.

5.3.15. Запас стійкості за  $\Delta h_\phi$  фазою визначається різницею між фазою -180 градусів і фазою ЛФЧХ на частоті зрізу  $\phi_3$ :

$$\Delta h_\phi = 180 - \phi_3.$$

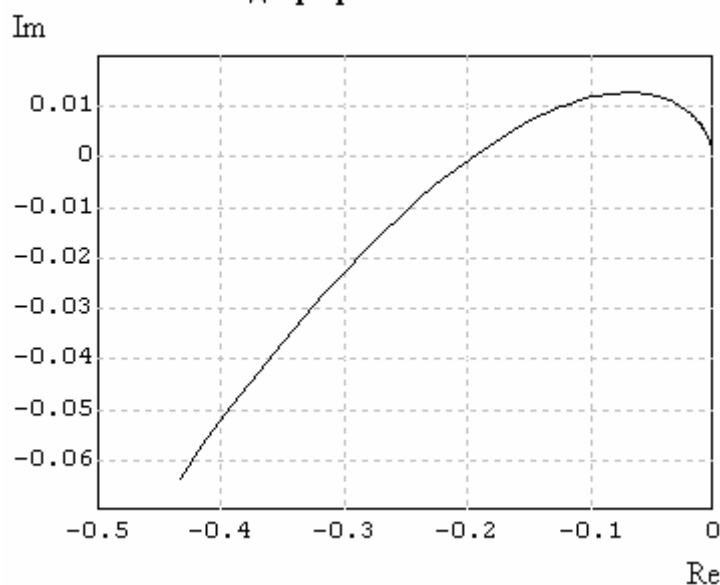
5.3.16. Розрахувати значення граничного коефіцієнту підсилення, згідно величини запасу стійкості за коефіцієнтом підсилення  $\Delta h_K$ .

- 5.3.17. Поміняти в моделі значення коефіцієнта підсилення блоку напівпровідникового підсилювача, встановивши його рівним розрахованому значенню.
- 5.3.18. Побудувати ЛАЧХ і ЛФЧХ й переконатись, що системи знаходяться на межі стійкості.
- 5.3.19. Переконатися, що зсув фаз на частоті зрізу дорівнює  $180^\circ$ .
- 5.3.20. Вивести осцилограму перехідного процесу й переконатись, що система знаходиться на межі стійкості.
- 5.3.21. По завершенню дослідження встановити коефіцієнт підсилення таким, який був до зміни (п. 5.3.17).

#### 5.4. Дослідження стійкості системи за АФЧХ розімкнутої системи (годографом Найквіста)

- 5.4.1. Вивести вікно годографів.
- 5.4.2. Задати розрахунок амплітудно-частотної характеристики (годографа Найквіста) між точками *вхід* і *вихід*.
- 5.4.3. Натиснути кнопку **Счет** й вивести графік.
- 5.4.4. Проаналізувати графік. Зарисувати у звіт. Зробити висновок чи дає графік можливість визначити стійкість системи згідно з критерієм Найквіста.
- 5.4.5. У разі, коли масштаб графіка не дозволяє з достатньою точністю зробити висновок щодо стійкості системи, вивести тільки частину графіка в околі високих частот. Для цього збільшити початкову частоту, задавши початкове значення 0,1; 0,5; 1; 2 ... чи інше.
- 5.4.6. На графіку вибрати режим автомаштабування (двічі натиснути ліву клавішу мишки) й проаналізувати графік. Зразок годографа Найквіста показано на рисунку.

Годограф Найквіста



- 5.4.7. Зробити висновок про стійкість системи на основі критерію Найквіста. Наприклад, з графіка видно, що годограф перетинає

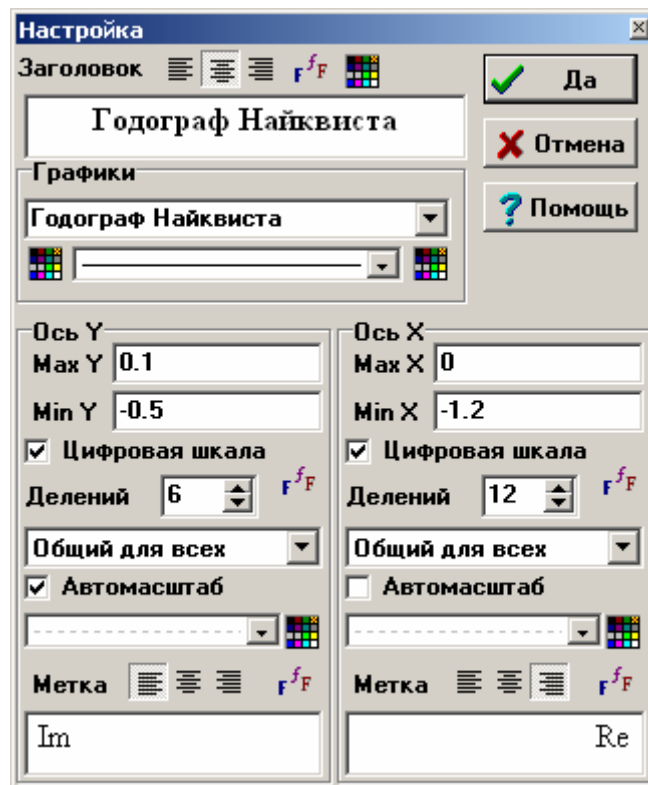
дійсну вісь в точці з координатами  $(-0,2; j0)$ , тобто він не охоплює точки з координатами  $(-1; j0)$ , що свідчить про стійкість системи.

- 5.4.8. Визначити запас стійкості за модулем. Запас стійкості за модулем визначають в процентах, він показує відносну величину модуля системи, відстань від межі стійкості. Оскільки модуль системи на межі стійкості при фазі  $-180$  дорівнює 1, то запас стійкості визначається величиною

$$\Delta h_M\% = (1 - R)100\%.$$

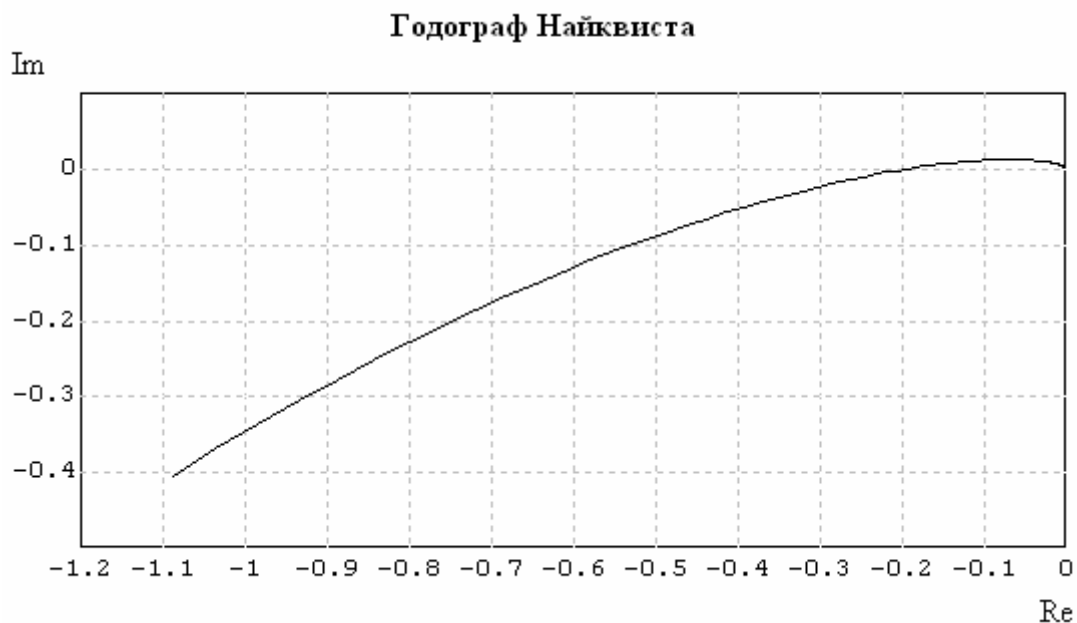
Тут  $R$  - координата АФЧХ при перетині від'ємної частини дійсної осі

- 5.4.9. Визначити запас стійкості системи за фазою.
- 5.4.10. Згідно з критерієм Найквіста його можна знайти як за АФЧХ, так і за сукупністю ЛАЧХ і ЛФЧХ.
- 5.4.11. Запас стійкості за фазою визначається кутом, на який потрібно повернути АФЧХ, доки вона не перетне від'ємну вісь логарифмів частот в точці  $-1$ . (Система не досягне межі стійкості). Його знаходять шляхом вимірювання кута повороту АФЧХ до положення, в якому вона пройде через точку  $(-1, 0j)$ . Можна рекомендувати такий порядок визначення запису стійкості за фазою на основі АФЧХ.
- 5.4.12. Підібрати мінімальне значення нижньої частоти при побудові АФЧХ (годографа Найквіста) таке, щоб мінімальне значення модуля було дещо більше від  $-1$  й вивести графік.
- 5.4.13. У вікні **Настройка** для параметрів графіка вибрати значення **Min X**, **Max X**, **Делений** по  $X$ , **Min Y**, **Max Y**, **Делений** по  $Y$  такими, щоб ціна поділок по осі  $X$  й по осі  $Y$  була однаковою. Підтвердити вибір натисканням клавіші **Да**.



5.4.14. Змінити розміри графіка так, щоб клітинки мали форму квадратів, перемістивши один з країв графіка.

5.4.15. Зарисувати графік у звіт, дотримуючись вибраного масштабу.



5.4.16. Провести дугу кола радіусом 1 (згідно з масштабом) з центром в початку координат.

5.4.17. Виміряти транспортиром кут між напрямком від'ємної осі логарифма частот і лінією, яка сполучає початок координат та точку перетину проведеної дуги з АФЧХ..

5.4.18. Записати це значення кута як запас стійкості за фазою  $\Delta h_\varphi$ .



5.4.19. Порівняти одержані значення запасу стійкості з величинами одержаною згідно з логарифмічним критерієм стійкості, при виконанні розділу 5.3 лабораторної роботи.

#### **5.5. Дослідження системи, що знаходиться на межі стійкості.**

- 5.5.1. Закрити вікна побудови частотних характеристик.
- 5.5.2. Розрахувати значення граничного коефіцієнта підсилення, згідно величини запасу стійкості за коефіцієнтом підсилення  $\Delta h_k$ , одержаного за допомогою логарифмічного критерію.
- 5.5.3. Поміняти в моделі значення коефіцієнта підсилення блоку напівпровідникового підсилювача, встановивши його рівним розрахованому значенню.
- 5.5.4. Перейти до режиму побудови частотних характеристик і вивести годограф АФЧХ.
- 5.5.5. Вивести АФЧХ (годограф Найквіста) розімкнутої системи.
- 5.5.6. Підібрати масштаб виводу АФЧХ таким, щоб чітко було видно проходження графіка через точку з координатами  $(-1; j0)$ .
- 5.5.7. Переконайтесь, що годограф точно проходить через точку з координатою  $(-1; j0)$  і система знаходиться на межі стійкості.
- 5.5.8. Якщо є певне відхилення, то змінити значення коефіцієнта підсилення напівпровідникового підсилювача у моделі САК відповідно до величини відхилення.
- 5.5.9. Зарисувати графік АФЧХ системи, коли вона знаходиться на межі стійкості.
- 5.5.10. Відкрити вікно побудови ЛАЧХ й ЛФЧХ.
- 5.5.11. Побудувати характеристики й зарисувати їх у звіт.
- 5.5.12. Закрити вікна побудови частотних характеристик.
- 5.5.13. Повернутись до моделі САК.
- 5.5.14. У блоці елемента порівняння змінити множник сигналу зворотного зв'язку з 0 на -1.
- 5.5.15. Змодельовати роботу системи.
- 5.5.16. Зарисувати графік перехідного процесу системи на межі стійкості.

#### **5.6. Завершення роботи.**

- 5.6.1. Збережіть файли з рисунками, якщо вони були записані під час виконання роботи.
- 5.6.2. Покажіть викладачеві результати виконаної роботи.
- 5.6.3. Виправте результати згідно із зауваженнями викладача.
- 5.6.4. Закрийте моделі й вийдіть з пакету МВТУ
- 5.6.5. Вимкніть комп'ютер кнопкою «Пуск».
- 5.6.6. У разі потреби запишіть на комп'ютері викладача файли з результатами роботи.

## **6. Звіт з лабораторної роботи**

Звіт з лабораторної роботи рекомендується виконувати на подвійних аркушах зошита в клітинку або на стандартних аркушах паперу формату А4.

6.1. Звіт повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця та номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).

6.2. Дальші сторінки звіту повинні містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Варіант завдання та значення коефіцієнтів системи, відповідно до варіанту завдання.
- Принципову схему системи керування обертами двигуна постійного струму незалежного збудження з позначенням елементів схеми й розшифровкою позначень.
- Розрахунки параметрів динамічних ланок, які в моделі відповідають складовим частинам системи керування.
- Структурну схему моделі.
- Результати дослідження стійкості системи за критерієм Найквіста.
- Графіки годографів Найквіста стійкої системи, нестійкої і системи на межі стійкості.
- Коефіцієнти ланок стійкої, нестійкої та системи на межі стійкості.

## **7. Контрольні запитання**

7.1. Що розуміють під поняттям «стійкість системи».

7.2. Сформулюйте умову стійкості.

7.3. Що таке характеристичне рівняння.

7.4. Які значення коренів характеристичного рівняння системи, що знаходиться на межі стійкості.

7.5. Яку систему називають розімкнутою?

7.6. Сформулюйте критерій стійкості Найквіста.

7.7. Які значення має коефіцієнт підсилення на частоті зрізу стійкої системи?

7.8. Яка частота називається частотою спряження?

7.9. Яка частота називається частотою зрізу?

7.10. Сформулюйте критерій Найквіста відносно логарифмічних частотних характеристик.

7.11. Поясніть взаємозв'язок між логарифмічним критерієм і критерієм, сформульованим для годографа КПФ.

## Лабораторна робота № 4

### *Дослідження стійкості систем автоматичного керування за критерієм Михайлова й полюсами передаточної функції*

#### 1. Мета роботи

Дослідження перехідних процесів у стійких і нестійких САК. Вивчення частотних критеріїв стійкості. Експериментальне знаходження меж стійкості.

Набуття навичок аналізу стійкості САК за допомогою ПК МВТУ.

#### 2. Обладнання для виконання роботи

Роботу виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows;
- програмний комплекс «Моделирование в технических установках».
- офісний пакет програм Microsoft Office.

#### 3. Підготовка до виконання роботи

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і матеріал практичних занять, а саме:

- Умови стійкості САК.
- Передаточна, комплексна передаточна функції й частотні характеристики САК.
- Критерії стійкості. Критерій Михайлова.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір, дискету для збереження результатів в електронній формі.

#### 4. Завдання до лабораторної роботи

- 4.1. Відкрити побудовану на минулому занятті модель системи автоматичного керування обертами двигуна постійного струму з незалежним збудженням. структурну схему.
- 4.2. Побудувати годографи Михайлова для стійкої і нестійкої САК перевірити дію критерію.
- 4.3. Знайти полюси й нулі стійкої та нестійкої САК, зробити висновки щодо розміщення полюсів.
- 4.4. Визначити передатну функцію стійкої САК за структурною схемою.
- 4.5. Розрахувати вручну значення коефіцієнтів передаточної функції замкнутої системи.


## 5. Дослідження стійкості системи за критерієм Михайлова

Критерій Михайлова заснований на частотних властивостях характеристичного полінома  $D(j\omega)$  замкнутої системи. Характеристичний поліном утворюється заміною оператора  $p$  в знаменнику передаточної функції величиною  $p = j\omega$ . Якщо годограф характеристичного поліному побудовано на комплексній площині, то для стійкості системи необхідно й достатньо, щоб при зміні  $\omega$  від нуля до безконечності годограф проходив  $n$  квадрантів комплексної площини,  $n$  – порядок системи. Тобто потрібно, щоб годограф послідовно переходив з одного квадранта в сусідній, рухаючись в додатному напрямку (проти годинникової стрілки).

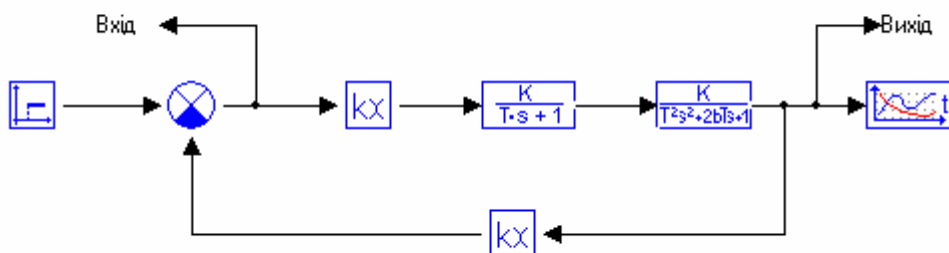
5.1.Завантажити програмний комплекс MBTU.

5.2.Відкрити модель САК обертами двигуна постійного струму з незалежним збудженням, створену на попередньому лабораторному занятті

5.3.Замкнути зворотній зв'язок відкривши вікно властивостей блока

пристрою порівняння  , й встановити значення -1 замість раніше введеної величини 0.

5.4.Перенесіть блок **В пам'ять** на вихід системи. Для цього виучіть лінію зворотного зв'язку, виділивши його та натиснувши клавішу клавіатури **Delete**. Перемістіть блок **В пам'ять**, розмістивши його біля виходу системи, й приєднайте до вихідної лінії (лінії зв'язку з блоком часового графіка). Замкніть розірвану лінію зворотного зв'язку.



5.5.Активізуйте модель, натиснувши кнопку **Старт**.

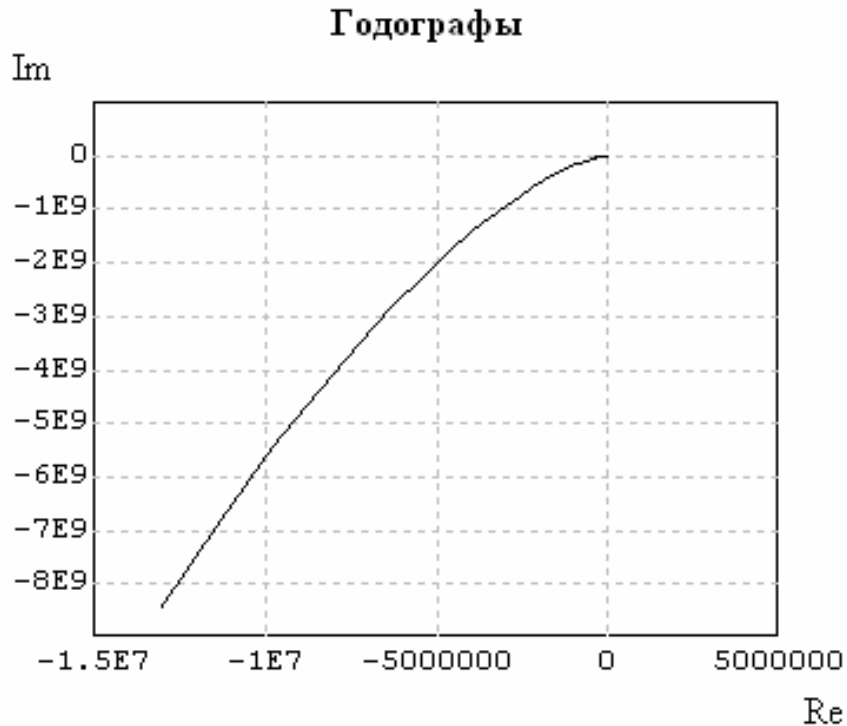
5.6.Виконайте контрольне моделювання перехідного процесу натиснувши в панелі інструментів кнопку (**Продовжити Ctrl+F9**). Проаналізуйте характер перехідного процесу і зробіть висновок відносно стійкості системи.

5.7.Виведіть вікно **Параметри частотного аналізу**, вибравши за допомогою рядкового меню команду **Анализ. Частотный анализ**.

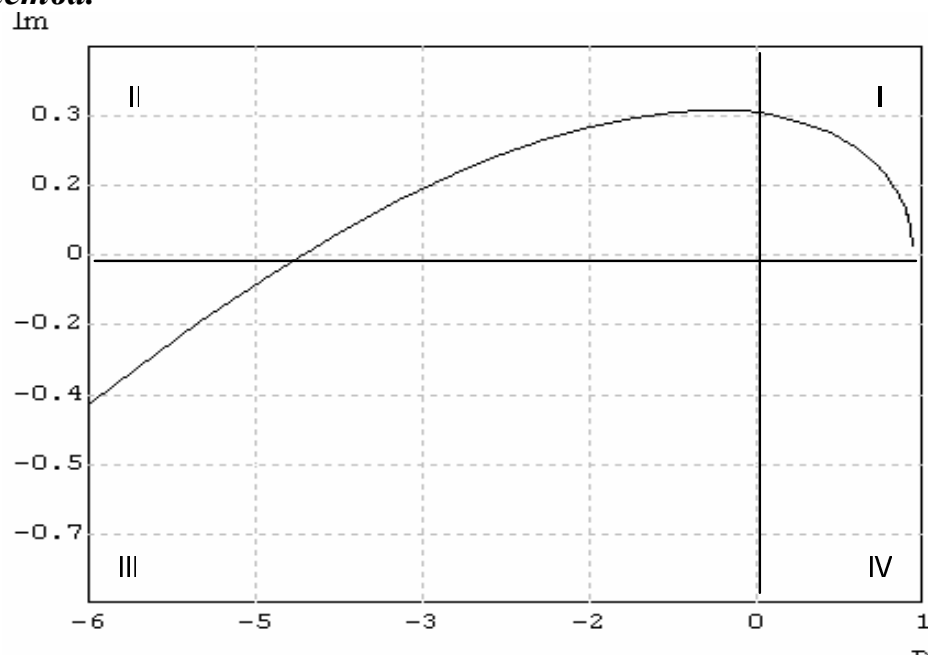
5.8.У вікні частотного аналізу клацніть мишкою на кнопці **Годографи**.

5.9. Коли кнопка **Годограф Михайлова** стане активною (колір напису з білого стане чорним) натисніть цю кнопку. Буде побудовано годограф Михайлова.

5.10. Проаналізуйте вигляд годографа. Якщо частотний діапазон (**Конечная частота**) досить великий, то годограф матиме мілкий масштаб і розглядіти його хід в околі початку координат буде неможливо, як це показано на рисунку



5.11. Для зміни масштабу рисунку і виконання аналізу виріжте частину графіка змінивши його параметри. Зайдіть у вікно **Настройка** графіка, вибравши в контекстному меню правої клавіші мишки команду **Свойства**.




- 5.12. Змініть значення границь за віссю  $X$  й віссю  $Y$  (***Max X, Min X, Max Y, Min Y***), а також кількість ***Делений*** таким чином, щоб на екран була виведена та частина графіка, і позначки поділок шкали так, щоб можна було судити про стійкість системи, як це показано на рисунку.
- 5.13. Опишіть хід годографа і зробіть висновок відносно стійкості системи.
- 5.14. Зарисуйте графік у звіт. Проведіть координатні осі й прослідкуйте, яким чином годограф переходить з одного квадранту в інший.
- 5.15. Закрийте вікно годографа, натиснувши клавішу ***Да*** у вікні ***Параметры частотного анализа***.
- 5.16. Змініть коефіцієнт підсилення в першій ланці моделі, ланці напівпровідникового підсилювача так, щоб система змінила стан стійкості. Для цього скористайтесь даними попередньої лабораторної роботи.
- 5.17. Повторно виконайте розрахунок, натиснувши кнопку меню ***Продолжить***, й переконайтесь, що система зі стійкої стала нестійкою (чи навпаки).
- 5.18. Виведіть годограф Михайлова.
- 5.19. Проаналізуйте його хід і відповідність критерію стійкості системи.
- 5.20. Зарисуйте годограф у звіт.
- 5.21. Ще раз змініть параметри ланки, встановивши значення коефіцієнта підсилення таким, щоб система знаходилась на межі стійкості.
- 5.22. Виведіть годограф Михайлова, проаналізуйте його хід і зарисуйте у звіт.
- 5.23. Зробіть висновки щодо використання критерію Михайлова для визначення стійкості системи.
- 5.24. Закрийте вікна частотного аналізу.

## **6. Знаходження полюсів і нулів передаточної функції і визначення стійкості за їх розміщенням в комплексній площині**

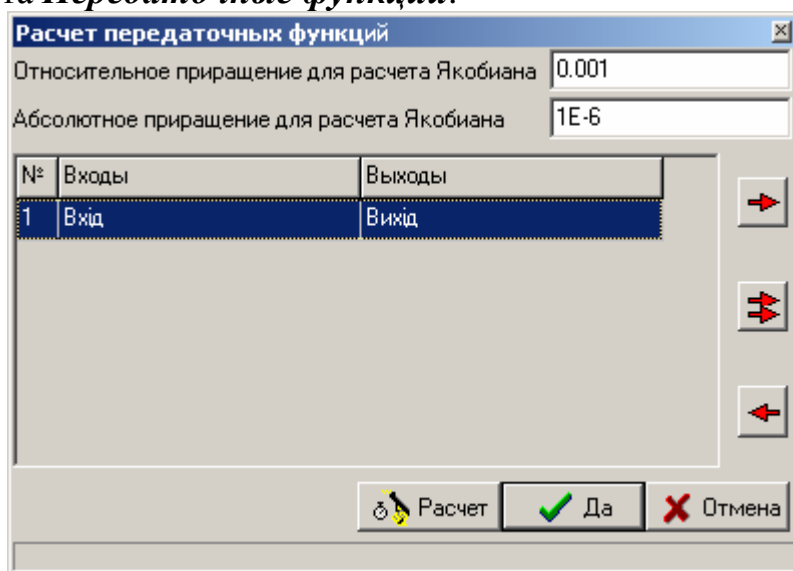
Умовою стійкості системи є знаходження коренів характеристичного рівняння у лівій частині комплексної площини. Характеристичне рівняння можна одержати, якщо знаменник передаточної функції прирівняти до нуля. Система МВТУ дозволяє розрахувати полюси й нулі передаточної функції. Полюсами передаточної функції є точки, в яких значення передаточної функції рівне безконечності, тобто точки, в яких знаменник рівний нулю. Це значення, які відповідають кореням характеристичного рівняння. Нулями передаточної функції є точки, в яких нулю дорівнює чисельник. За результатами розрахунків можна визначити стійкість системи.

Закрийте вікна частотного аналізу, якщо вони не закриті.

- 6.1. Встановіть значення коефіцієнта підсилення такими, щоб робот моделі системи керування обертами двигуна була стійкою.
- 6.2. Виконайте команду ініціювання моделі, натиснувши кнопку ***Старт***.

6.3. Натисніть рядом розміщену кнопку **Стоп** , щоб зупинити розрахунок, який ще не почався.

6.4. Виведіть вікно **Расчет передаточных функций**, виконавши команди **Анализ** та **Передаточные функции**.



**Расчет передаточных функций**

Относительное приращение для расчета Якобиана: 0.001

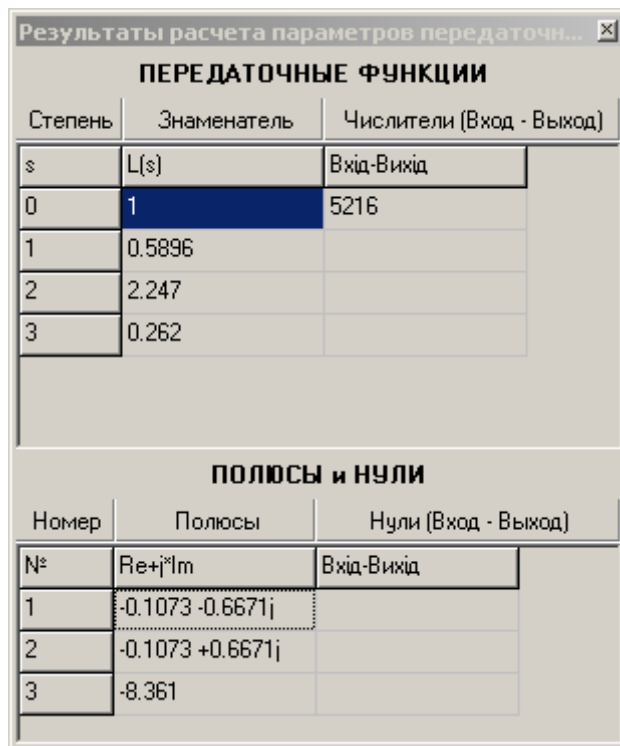
Абсолютное приращение для расчета Якобиана: 1E-6

№	Входы	Выходы
1	Вхід	Вихід

Buttons: Расчет, Да, Отмена

6.5. У вікні клацніть нижню кнопку зі стрілкою вводу й введіть вхід та вихід точок структурної схеми, між якими потрібно розрахувати передатну функцію. У вікні повинен бути тільки один рядок з координатами точок входу й виходу.

6.6. Натисніть кнопку **Расчет**. З'являться результати розрахунку коефіцієнтів передаточної функції та значення нулів і полюсів передаточної функції.



**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАТОЧН...**

**ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ**

Степень	Знаменатель	Числители (Вход - Выход)
$s$	$L(s)$	Вхід-Вихід
0	1	5216
1	0.5896	
2	2.247	
3	0.262	

**ПОЛЮСЫ и НУЛИ**

Номер	Полюсы	Нули (Вход - Выход)
№	$Re+jIm$	Вхід-Вихід
1	-0.1073 -0.6671j	
2	-0.1073 +0.6671j	
3	-8.361	

6.7. Проаналізуйте одержані значення. Значення коефіцієнтів передаточної функції виводяться у двох колонках для знаменника і чисельника. Вони впорядковані за степенями оператора  $p$ . Значення полюсів і нулів наведені дещо нижче. Вони також розміщені в дві колонки.

6.8. Випишіть у звіт значення коефіцієнтів передаточної функції.

Зауваження: Для того, щоб скопіювати значення у текстовий файл виділіть їх, клацнувши курсором у верхній клітинці лівої колонки, натисніть клавішу Shift клавіатури й клацніть курсором у нижній клітинці лівої колонки. Після цього клацнути правою клавішею мишки й вибрати команду **Копировать..**

Знаменник	Чисельник
1	5216
0.5896	
2.247	
0.262	

Полюса
-0.1073-0.6671j
-0.1073+0.6671j
-8.361

6.9. Запишіть передатну функцію у вигляді дробу з коефіцієнтами розрахованими комп'ютером.

6.10. Самостійно на папері, використовуючи дані свого варіанта лабораторної роботи (чи дані, одержані при виправленні стійкості системи на початку попередньої роботи), розрахуйте передатну функцію замкнутої системи.

6.11. Переконайтесь у правильності своїх (чи комп'ютерних) розрахунків. Дані повинні співпадати. Хід розрахунку потрібно відобразити у звіті з лабораторної роботи.

6.12. Запишіть у звіт значення полюсів передаточної функції.

6.13. Зарисуйте полюси передаточної функції на комплексній площині.

6.14. Проаналізуйте значення полюсів передаточної функції та зробіть висновок про стійкість системи.

6.15. Використовуючи значення полюсів передаточної функції, розрахуйте вручну характеристичний поліном (знаменник передаточної функції) згідно з формулою.

$$D(p) = (p - p_1)(p - p_2)(p - p_3)$$

6.16. Перевірте відповідність одержаного значення значенню, одержаному при підстановці коефіцієнтів передаточної функції.

6.17. Закрити вікно **Результаты расчета параметров передаточных функции**, натиснувши значок закриття в лівому куті вікна.



- 6.18. Закрийте вікно *Расчет передаточных функций*, натиснувши кнопку *Да*.
- 6.19. У ланці підсилювача змініть коефіцієнт підсилення так, щоб система стала нестійкою (скористайтесь значенням одержаних раніше).
- 6.20. Натисніть в панелі інструментів команду *Старт*.
- 6.21. Натисніть команду *Стоп*.
- 6.22. Відкрийте вікно *Анализ > Передаточные функции*.
- 6.23. Натисніть клавішу *Счет*.
- 6.24. Запишіть результати розрахунку коефіцієнтів і полюсів передаточної функції.
- 6.25. Запишіть вигляд передаточної функції за значеннями коефіцієнтів.
- 6.26. Зобразіть полюси передаточної функції на комплексній площині (цьому ж рисунку, що в попередньому завданні). Проаналізуйте їх розміщення і зробіть висновок щодо стійкості системи.
- 6.27. Закрийте вікна розрахунку передаточних функцій і замініть коефіцієнт підсилення встановленим раніше значенням на межі стійкості.
- 6.28. Аналогічним чином зробіть розрахунки коефіцієнтів передаточної функції та її полюсів.
- 6.29. Запишіть дані в звіт, зарисуйте на комплексній площині і зробіть висновок щодо стійкості системи.
- 6.30. У разі, якщо значення полюсів не повністю задовольняють межі стійкості, спробуйте скоригувати коефіцієнт підсилення і одержати значення якомога ближчі до межі стійкості.

## 7. Завершення роботи

- 7.1. Збережіть файли з рисунками, якщо вони були записані під час виконання роботи.
- 7.2. Покажіть викладачеві результати виконаної роботи.
- 7.3. Виправте результати згідно із зауваженнями викладача.
- 7.4. Закрийте моделі й вийдіть з пакету MBTU.
- 7.5. Вимкніть комп'ютер кнопкою «Пуск».
- 7.6. У разі потреби запишіть на комп'ютері викладача файли з результатами роботи.

## 8. Звіт з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи рекомендується виконувати на подвійних аркушах зошита в клітинку або на стандартних аркушах паперу формату А4.

- 8.1. Звіт повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця та номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).
- 8.2. Дальші сторінки звіту повинні містити:
- Назву і мету лабораторної роботи.

- Варіант завдання і значення коефіцієнтів системи, відповідно до варіанту завдання.
- Принципову схему системи керування обертами двигуна постійного струму незалежного збудження з позначенням елементів схеми й розшифровкою позначень.
- Розрахунки параметрів динамічних ланок, які в моделі відповідають складовим частинам системи керування.
- Структурну схему моделі.
- Результати дослідження стійкості системи за критерієм Михайлова.
- Графіки годографів Михайлова стійкої системи, нестійкої і системи на межі стійкості.
- Коефіцієнти ланок стійкої, нестійкої і системи на межі стійкості.
- Розраховані значення передаточних функцій і полюсів передаточної функції для стійкої, нестійкої і системи на межі стійкості.
- Математичні викладки розрахунку передаточної функції стійкої системи за значеннями коефіцієнтів динамічних ланок.
- Математичні викладки розрахунку знаменника передаточної функції за значенням полюсів.
- Комплексну площину із зображенням полюсів стійкої, нестійкої і системи на межі стійкості.

## 9. Контрольні запитання

- 9.1. Сформулюйте критерій стійкості Михайлова.
- 9.2. Чим відрізняються замкнута система від розімкнутої.
- 9.3. Яким чином в лабораторній роботі замкнута система перетворюється в розімкнуту?
- 9.4. Що являє собою годограф Михайлова?
- 9.5. Як рахують квадранти комплексної площини?
- 9.6. Через скільки квадрантів повинні пройти годографи стійких систем 4, 7, 3 порядків і годографи нестійких систем?
- 9.7. Для яких систем годограф завершується в нескінченності?
- 9.8. Що називають характеристичним поліномом?
- 9.9. Які значення коренів характеристичного поліному стійкої системи?
- 9.10. Які корені на комплексній площині зображують парними, а які ні?
- 9.11. Скільки коренів мають поліноми 4, 7, 3 порядків?
- 9.12. Що таке полюси передаточної функції?
- 9.13. Чи буде стійкою система, якщо тільки один корінь характеристичного поліному розміщено в правій частині комплексної площини і одночасно полюс передаточної функції співпадає з цим коренем?

## **Лабораторна робота № 5**

### *Дослідження показників якості керування*

#### **1. Мета роботи**

Освоєння експериментальних методів визначення показників якості керування і критеріїв якості. Освоєння методів розрахунку похибок САК в усталених і динамічних режимах роботи і експериментальна перевірка результатів за допомогою моделювання на комп'ютері.

#### **2. Обладнання для виконання роботи**

Роботу виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows,
- пакет програм ПК MBTU

#### **3. Підготовка до виконання роботи**

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і матеріал практичних занять, а саме:

- похибки САК в усталених і динамічних режимах роботи і методи їх розрахунку;
- умови отримання астатизму по відношенню до зовнішнього впливу;
- показники якості керування;
- методи оцінки показників якості за експериментальними графіками перехідного процесу;
- критерії якості, частотні методи оцінки якості керування.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання : зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір. дискету.

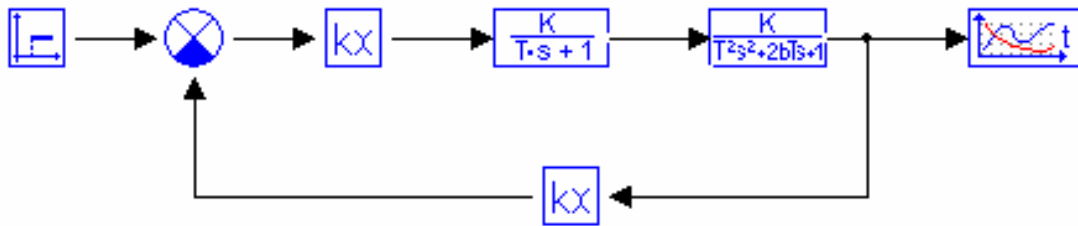
#### **4. Хід виконання лабораторної роботи**

##### **Підготовка до виконання роботи.**

Ввімкнути персональний комп'ютер, завантажити операційну систему й програмний пакет MBTU.

Проконтролювати завантаження пакету програм. Перейти до режиму побудови моделі САК, натиснувши клавішу Enter.

Завантажити раніше створену модель САК обертами двигуна постійного струму з незалежним збудженням.



### Визначення показників якості керування за експериментальним графіком перехідного процесу

Змодельовати роботу системи. Вивести вікно екрану з перехідною характеристикою САК. Переконайтесь, що САК стійка і працює в стабільному режимі. Встановити проміжок часу інтегрування так, щоб перехідний процес повністю відобразився на екрані.

За графіком визначити характер перехідного процесу.

Підібрати коефіцієнт підсилення напівпровідникового підсилювача так, щоб перехідний процес був аперіодичним (з одним перерегулюванням).

За графіком перехідного процесу визначити усталену величину обертів двигуна  $\omega_{\infty}$  й максимальне значення  $\omega_{\max}$ . Для більш точного визначення скористатися курсором. Курсор вмикається за допомогою меню, яке з'являється при натисканні правої клавіші мишки в області екрана.

Визначити час перехідного процесу  $t_{\text{пер}}$ , з умови, що допустиме відхилення від усталеної  $\Delta\omega$  величини становить 5%. Допустиме відхилення потрібно розрахувати за усталеною величиною обертів двигуна. Час перехідного процесу висвітлюється в першій колонці таблиці курсору.

Розрахувати значення величини пере регулювання в процентах.

$$\sigma = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\infty}}{\omega_{\infty}} 100\%$$

Записати в табличку значення коефіцієнту підсилення  $K_{\text{пн}}$ , усталену величину обертів двигуна та тривалість перехідного процесу.

Зарисувати одержаний графік перехідного процесу.

Зменшити коефіцієнт підсилення системи з тим, щоб перехідний процес перетворився в аперіодичний.

Визначити усталене значення обертів двигуна.

Розрахувати значення вхідного ступінчастого сигналу, яке забезпечить це ж значення усталених обертів двигуна.

Змінити кінцеве значення ступінчастого сигналу.

Змодельовати роботу системи.

Визначити й записати в таблицю параметри перехідного процесу.

$K_{пп}$	$U_{вх}$	Характер перех. процесу	$\omega_{\infty}$	$t_{пер}$	$\sigma\%$	$T$	$n$
100	1	Аперіодичний	272,7	1,23	-	-	-
20	2,82	Монотонний	272,9	2,32	15,7	-	-
400		Коливальний					

Збільшити коефіцієнт підсилення, щоб характер перехідного процесу змінився на коливальний.

Визначити усталене значення обертів двигуна й розрахувати значення вхідного ступінчастого сигналу, яке забезпечить це ж значення усталених обертів двигуна.

Змінити кінцеве значення ступінчастого сигналу. Змодельовати роботу системи.

Для коливального процесу визначити ступінь коливальності системи  $n$  і період коливань  $T$ .

Розрахувати логарифмічний декремент  $d$  загасання.  $A_1$  і  $A_2$  – амплітуда двох послідовних коливань:

$$d = \lg \frac{A_1}{A_2}$$

Поміняти коефіцієнт підсилення так, щоб змінився характер коливання.

Визначити наведені вище показники якості керування.

Зарисувати одержані графіки, розрахувати й записати показники якості регулювання та значення коефіцієнтів динамічних ланок.

## 5. Завершення роботи

Збережіть файли з рисунками якщо вони були записані під час виконання роботи.

Покажіть викладачеві результати виконаної роботи.

Виправте результати згідно із зауваженнями викладача.

Закрийте моделі й вийдіть з пакету MBTU.

Вимкніть комп'ютер кнопкою «Пуск».

У разі потреби запишіть на комп'ютері викладача файли з результатами роботи.

## 6. Звіт з лабораторної роботи

Звіт з лабораторної роботи рекомендується виконувати на подвійних аркушах зошита в клітинку або на стандартних аркушах паперу формату А4.

Звіт повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця й номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).

Дальші сторінки звіту повинні містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Варіант завдання і значення коефіцієнтів системи, відповідно до варіанту завдання.
- Структурну схему моделі.
- Графіки перехідних процесів.
- Розрахунки показників якості перехідних процесів.
- Таблицю з результатами розрахунків.

## **7. Контрольні запитання**

Які типи перехідних процесів ви знаєте?

Які допустимі значення величини пере регулювання для електроприводу?

В якого перехідного процесу тривалість більша?

Як визначити логарифмічний декремент затухання?

Чи допустимий коливальний характер перехідного процесу для двигуна тролейбуса?

Як визначають коливальність перехідного процесу?

Який допуск на визначення усталеного значення прийнято в системі електроприводу?

Які інтегральні показники якості перехідного процесу ви знаєте?

Як визначають показники якості керування за експериментальним графіком перехідного процесу?

Дайте визначення інтегрального критерію якості?

Що розуміють під характером перехідного процесу?

## Лабораторна робота № 6

### *Дослідження точності статичної системи керування двигуна постійного струму*

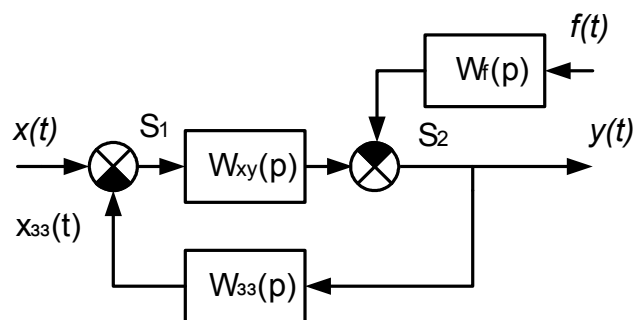
#### 1. Мета роботи

Освоєння методів розрахунку точності САК. Експериментальна дослідження похибок керування за допомогою віртуальних комп'ютерних моделей.

#### 2. Опис змісту лабораторної роботи

Точність регулювання – це один з важливих показників роботи САК. Точність САК визначається величиною похибки (помилки) керування, тобто різницею між потрібним і фактичним значенням керуючої величини. Залежно від режиму роботи розрізняють два види похибок – статичні й динамічні. Статичні похибки характеризують усталений статичний режим роботи САК (постійна величина зовнішніх дій і незмінні параметри системи), а динамічні похибки – усталений динамічний режим.

Для пояснення величини похибки керування та її складових використаємо узагальнену САК, до якої можна привести, після певних перетворень, будь-яку структурну схему.



Тут сигнал керування  $x(t)$  проходить через ланки, передаточна функція яких  $W_{xy}(p)$ . Сигнал збурення  $f(t)$  проходить через ланку  $W_f(p)$ . Вихідний сигнал  $y(p)$  через ланки зворотного зв'язку, з передаточною функцією  $W_{33}(p)$ , подається на суматор  $S_1$ . Суматор  $S_1$  розраховує різницю  $\Delta x(t)$  сигналів керування  $x(t)$  й зворотного зв'язку  $x_{33}(t)$  і забезпечує регулювання.

Похибка системи керування (різниця вхідної і вихідної величин), згідно з наведеною схемою, відповідає вихідному сигналу блока  $S_1$  (при умові, що зворотній зв'язок приведений до одиничного). Приведення до одиничного зворотного зв'язку можна завжди виконати для довільної системи.

Розглянемо складові похибки регулювання.

По-перше, це перехідна й вимушена складові. Перехідна складова з'являється під час перехідного процесу, вимушена складова – в усталеному режимі роботи.

По-друге, складові, виникнення яких обумовлені різними причинами: похибка по керуючій дії  $\Delta x_x(t)$  і похибка по збуренню  $\Delta x_f(t)$ .

Точність регулювання визначається похибкою в усталеному режимі роботи. Її поділяють на статичну й динамічну. Статична похибка – це похибка системи в усталеному статичному режимі роботи. Статичний режим роботи – це режим, при якому система знаходиться у стані усталеного незмінного режиму роботи, внаслідок того, що всі параметри системи й вхідні величини є незмінними в часі. Статична похибка по керуючій дії, згідно з розглянутою вище структурною схемою САК, дорівнює:

$$\Delta x_x(p) = \frac{1}{1 + W_{zz}(p)W_{xy}(p)} x(p). \quad (1)$$

Тут  $\Delta x_x(p)$  та  $\Delta x(p)$  – зображення (перетворення Лапласа) відповідно для похибки і керуючої дії.

Ця формула розрахована звичайним способом, а саме: в знаменнику – передаточна функція розімкнутої системи, а в чисельнику – передаточна функція між входом сигналу і місцем визначення похибки (в даному разі 1). Оскільки в статичному режимі всі похідні дорівнюють нулю (величини незмінні в часі), то в передаточних функціях можна прийняти  $p = 0$ , тоді похибка дорівнює:

$$\Delta x_x(p) = \frac{1}{1 + k} x(p). \quad (2)$$

Величина

$$\delta = \frac{1}{1 + k} \quad (3)$$

має назву статизму системи.

Статизм системи визначає величину статичної похибки. З формули видно, що відносна похибка залежить від коефіцієнта підсилення системи  $k$ . При  $k = 1$  відносна похибка  $\varepsilon = 0,5$ . Зі збільшенням  $k$  похибка зменшується, наприклад, при  $k = 100$   $\varepsilon \approx 0,01$ .

Похибка відносно збурюючої дії така:

$$\Delta x_f(p) = \frac{W_f(p)W_{zz}(p)}{1 + W_{zz}(p)W_{xy}(p)} f(p).$$

У статичному режимі вона дорівнює:

$$\Delta x_f(p) = \frac{1}{1 + k} k_f f(p) = \delta k_f f(p),$$

тобто вона пропорційна статизму системи  $\delta$ .

Як видно з наведеного, для систем розглянутого типу похибка керування завжди відмінна від нуля. Для зменшення похибки до нульового значення в ділянку системи, яка описується передаточною функцією  $W_{xy}(p)$ , вводять інтегруючу ланку. Таку систему називають астатичною. Похибка її в статичному режимі роботи дорівнює нулю. У цьому можна переконатись, розглядаючи формулу розрахунку величини похибки:



$$\Delta x_f(p) = \frac{W_f(p)W_{33}(p)}{1 + W_{33}(p)W_{xy}(p)\frac{k}{p}} f(p). \quad (4)$$

У цій формулі враховано, що послідовно із ланкою, передаточна функція якої  $W_{xy}(p)$ , ввімкнута інтегруюча ланка з передаточною функцією  $\frac{k}{p}$ . У знаменнику є відповідний множник. У статичному режимі роботи, коли  $p = 0$ , похибка дорівнюватиме нулю.

Динамічний режим – це такий усталений режим роботи, при якому вхідні величини постійно змінюються за певним встановленим законом, наприклад, з постійною швидкістю, з постійним прискоренням, за синусоїдальним законом, тощо. Залежно від типу динамічного режиму з'являються складові похибки, а саме: похибка по швидкістю, похибка за прискоренням, тощо. Астатична система 1 порядку (яка має одну інтегруючу ланку) має нульову похибку за постійною складовою сигналу й постійну величину похибки за швидкістю зміни сигналу. Для зменшення до нуля похибки за швидкістю зміни сигналу вводять додаткову інтегруючу ланку і одержують астатичну систему II порядку (з двома інтегруючими ланками). У ній похибка за величиною й швидкістю зміни сигналу рівні нулю. Астатична система III порядку має рівні нулю складові похибки за величиною сигналу, швидкістю його зміни й прискоренням. Такі системи можуть використовуватись, наприклад, в системах керування ракет типу земля – повітря, та інших автоматичних системах, призначених для слідування за рухомими об'єктами.

У цій лабораторній роботі розглянуті особливості регулювання статичними системами, в наступній – астатичними.

### **3. Підготовка до виконання роботи**

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і дані практичних занять, а саме: похибки САК у встановлених режимах роботи і методи їх розрахунку, умови отримання астатизму по відношенню до зовнішнього впливу. Повторити розрахунок параметрів динамічних ланок САК, які досліджували в лабораторній роботі №5.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір.

### **4. Хід виконання лабораторної роботи**

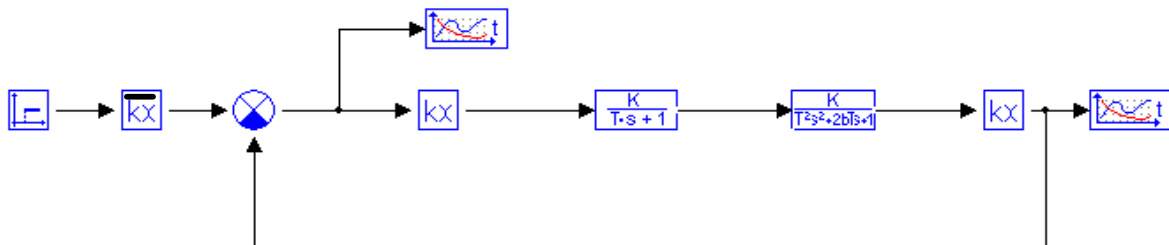
#### **4.1. Початок роботи**

4.1.1. Завантажити файл зі структурною схемою стійкої САК, що досліджувалась у попередній лабораторній роботі

- 4.1.2. Розрахувати статизм й відносну похибку досліджуваної системи за керуючою дією згідно з формули (3).
- 4.1.3. Зарисувати у звіті структурну схему системи при заміні зворотного зв'язку одиничним зворотним зв'язком відповідно до правил перетворення структурних схем (див. посібник з ТАК).

#### 4.2. Дослідження статичної похибки за сигналом керування

- 4.2.1. Змодельовати роботу системи при ступінчастому вхідному сигналі.
- 4.2.2. Вивести у вікно графік зміни в часі швидкості двигуна. Визначити швидкість в усталеному режимі роботи  $\omega_y$ .
- 4.2.3. Зберегти вигляд перехідної характеристики у текстовому файлі.
- 4.2.4. Змінити структурну схему, замінивши зворотній зв'язок одиничним зворотним зв'язком.
- 4.2.5. Ввести у схему додатково блок запису сигналу і подати на нього сигнал з виходу суматора, як показано на рисунку.



- 4.2.6. Змодельовати роботу системи.
- 4.2.7. Переглянути графік зміни швидкості двигуна і переконатись, що він співпадає з графіком, одержаним до заміни зворотного зв'язку одиничним.
- 4.2.8. Вивести сигнал похибки керування  $\Delta\omega$  (сигнал з виходу суматора). Записати значення величини похибки в усталеному режимі регулювання.
- 4.2.9. Розрахувати задану швидкість двигуна  $\Delta\omega$ , яка повинна бути згідно із сигналом керування. Ця швидкість дорівнює величині вхідного сигналу, помноженій на коефіцієнт підсилення блоку перед входом суматора.
- 4.2.10. Переконатись, що сумарна величина усталеної швидкості  $\omega_y$  і похибки  $\Delta\omega$  керування дорівнює заданій швидкості  $\Delta\omega$ .
- 4.2.11. Розрахувати значення відносної похибки й порівняти його з величиною статизму системи. Зробити висновок.
- 4.2.12. Змінити коефіцієнт підсилення напівпровідникового підсилювача, збільшивши (чи зменшивши в декілька раз) так, щоб стійкість системи не порушилась.
- 4.2.13. Встановити значення відносної похибки в усталеному режимі за осцилограмами похибки і вихідного сигналів.

4.2.14. Повторно ще раз змінити коефіцієнт підсилення і визначити величину відносної похибки.

4.2.15. Розрахувати величини статизму для кожного випадку і дані записати в таблицю.

№	Швидкість двигуна $\omega$ , рад/с	Похибка керування $\Delta\omega$ , рад/с	Відносна похибка $\epsilon$	Коефіцієнт підсилення системи, К	Статизм системи s

4.2.16. Зарисувати графіки перехідних процесів.

4.2.17. Зробити висновок про залежність відносної похибки від статизму системи.

4.2.18. Розглянути одержані графіки й зробити висновки щодо якості процесу регулювання і зміни її в разі зміни коефіцієнта підсилення.

4.2.19. Дати відповідь, яким чином можна встановити задану швидкість обертів двигуна  $\omega_K$  не змінюючи схему і параметри системи керування в кожному конкретному випадку. Розрахувати відповідні величина керуючого сигналу.

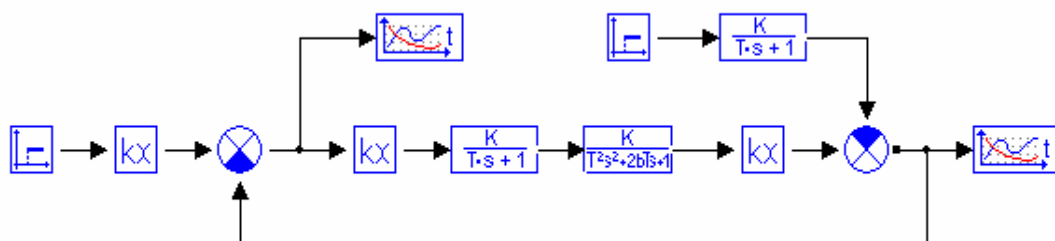
#### 4.3. Дослідження похибки статичної системи відносно збурюючої дії

4.3.1. Ввести у систему блок навантаження на валу двигуна. В якості блоку навантаження використати ступінчастий сигнал. Блок навантаження слід приєднати до механічної частини двигуна. Це можна зробити двома способами

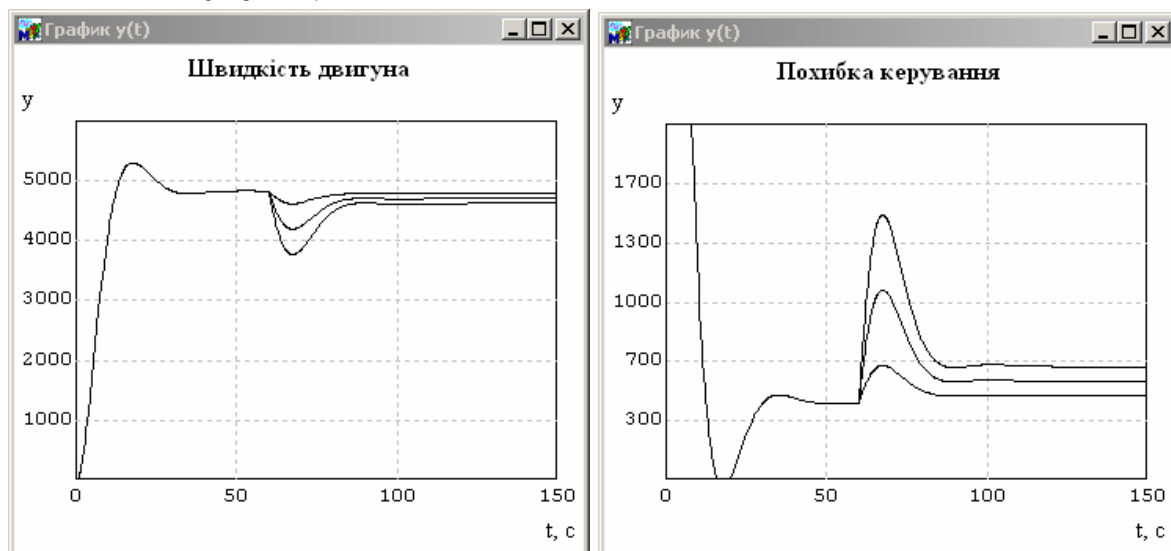
4.3.2. Замінити ланку другого порядку двигуна двома ланками першого порядку з постійними часу електричної частини  $T_e$  і механічної частини  $T_m$  (див. лабораторну роботу №3) і приєднати ланку збурення між цими ланками.

4.3.3. Ввести ланку збурення відповідно до схеми, розглянутої в даній лабораторній роботі. Параметри ланки розрахувати за формулами.

$$T_e = \frac{L_e}{R_e}; \quad K = \frac{C}{R_e}$$




- 4.3.4. Ввести ланку збурення відповідно до схеми, розглянутої в даній лабораторній роботі. Параметри ланки розрахувати за формулами.
- 4.3.5. Ввести розраховані значення в ланку збурення.
- 4.3.6. У ланці ступінчастого сигналу навантаження на валу двигуна момент зміни величини встановити по завершенні перехідного процесу (Вибрати з одержаних графіків). Величину вихідного сигналу встановити порядку 1000 Н.м.
- 4.3.7. Змодельовати роботу системи. Вибрати час моделювання так, щоб завершився перехідний процес за керуючою дією і збуренням.
- 4.3.8. Змінити декілька разів величину навантаження та змодельовати процес роботи системи керування.
- 4.3.9. Занести дані в таблицю й розрахувати зміну величини похибки керування при зміні навантаження на валу двигуна. Зробити висновки.



№	Статизм  S	Величина навантаження,  Н.м		Швидкість двигуна  $\omega$ , рад/с	Похибка керування $\Delta\omega$ , рад/с		Відносна похибка $\varepsilon$	
					$\Sigma$	За $F_{36}$	$\Sigma$	За $F_{36}$
1		0						
2		1000						
		...						

#### 4.4. Визначення реакції статичної системи на динамічний сигнал

- 4.4.1. Динамічний режим роботи характеризується постійною зміною величини навантаження. Найбільш простою є зміна діючої

величини з постійною швидкістю У системі ПК MBTU є блок відтворення такого сигналу.  Проте час початку зміни сигналу в ньому не регулюється. Тому для відтворення постійно наростаючого сигналу з регульованим моментом початку його дії використано два блоки, а саме ступінчастого сигналу та інтегруючої ланки. Разом вони дають постійно наростаючий сигнал, в якому можна регулювати час початку його дій і швидкість зміни.

- 4.4.2. Вилучіть лінію зв'язку між джерелом навантаження (ступінчастий сигнал) і блоком навантаження.
- 4.4.3. Вставте у розрив зв'язку інтегруючу ланку.
- 4.4.4. З'єднайте ланки між собою і блоком навантаження.
- 4.4.5. У ланці ступінчастого сигналу встановіть момент зміни, який відповідає завершенню перехідного процесу пуску двигуна, а значення сигналу після зміни рівне одиниці. (Наприклад: **Время**, Y0, YK = 60 0 1).
- 4.4.6. У блоці інтегруючої ланки встановіть коефіцієнт підсилення, наприклад, рівним 10.
- 4.4.7. У результаті на вхід ланки навантаження буде подаватись динамічний сигнал, величина якого постійно зростатиме зі швидкістю 10 Н\*м/с.
- 4.4.8. Змодельуйте роботу системи керування.
- 4.4.9. Зарисуйте графіки зміни швидкості.
- 4.4.10. Дослідіть роботу двигуна при різних швидкості зміни навантаження. Проаналізуйте зміну швидкості двигуна й величини похибки. Зробіть висновки, чи настає усталений режим роботи статичної системи при динамічному характері навантаження.
- 4.4.11. Збережіть створену модель у вигляді файлу й покажіть результати роботи викладачеві

## 5. Завершення роботи

- 5.1. Збережіть файли з рисунками якщо вони були записані під час виконання роботи.
- 5.2. Покажіть викладачеві результати виконаної роботи.
- 5.3. Виправте результати згідно із зауваженнями викладача.
- 5.4. Закрийте моделі й вийдіть з пакету MBTU.
- 5.5. Вимкніть комп'ютер кнопкою «Пуск».
- 5.6. У разі потреби запишіть на комп'ютері викладача файли з результатами роботи.

## **6. Звіт з лабораторної роботи**

6.1. Звіт з лабораторної роботи повинен мати титульний аркуш, оформлений за вимогами ЄСКД, з вказівкою номера і теми лабораторної роботи, з прізвищем виконавця та номером варіанта (для студентів заочного навчання - з номером залікової книжки).

6.2. Дальші сторінки звіту повинні містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Варіант завдання і значення коефіцієнтів системи, відповідно до варіанту завдання.
- Структурні схеми моделей.
- Графіки перехідних процесів та величини похибки.
- Розрахунки точності регулювання.
- Таблиці з результатами розрахунків.

## **7. Контрольні запитання**

- 7.1. Які типи перехідних процесів ви знаєте?
- 7.2. Який режим роботи називають усталеним?
- 7.3. Які типи усталених режимів роботи?
- 7.4. Які існують складові похибки регулювання?
- 7.5. Що таке статизм системи, як його розрахувати,
- 7.6. Як змінюється точність регулювання в разі зміни коефіцієнта підсилення системи?
- 7.7. Як змінюється характер перехідного процесу при зміні коефіцієнта підсилення.
- 7.8. Яким чином можна компенсувати величину похибку за сигналом керування у статичній системі?
- 7.9. Чи можна компенсувати величину похибки статичної системи за величиною збурення?
- 7.10. Від чого залежить похибка за величиною збурення?
- 7.11. Як поводить себе статична система при зміні величини збурення з постійною швидкістю? Чи настає усталений режим?
- 7.12. Уточніть, який режим роботи називають усталеним?
- 7.13. Яку систему називають астатичною?

## **Лабораторна робота № 7**

### *Дослідження точності астатичної системи керування*

#### **1. Мета роботи**

Вивчення роботи астатичних САК. Освоєння методів визначення і розрахунку похибок їх точності та експериментальна перевірка результатів шляхом моделювання на комп'ютері.

#### **1. Обладнання для виконання роботи**

Роботу виконують на такому обладнанні:

- персональний комп'ютер, або локальна мережа персональних комп'ютерів типу IBM PC з операційною системою Windows;
- програмний комплекс: «Моделирование в технических устройствах».
- офісний пакет програм Microsoft Office.

#### **2. Підготовка до виконання роботи**

Під час підготовки до лабораторної роботи студенти повинні повторити відповідний лекційний матеріал і матеріал практичних занять, а саме:

- Точність САК.
- Статизм системи. Похибки керування в статичному та динамічному режимах роботи.
- Типи регуляторів. Методи корекції САК.

Засвоїти порядок виконання лабораторної роботи відповідно до цих методичних вказівок.

Підготувати необхідне робоче обладнання: зошит, лінійку, олівець, міліметровий папір, дискету для збереження результатів в електронній формі.

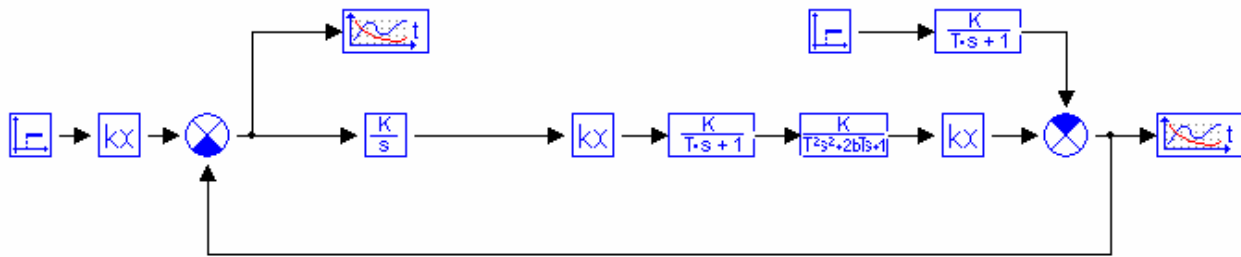
#### **3. Опис змісту лабораторної роботи**

Статичні системи керування мають великі похибки в статичному режимі роботи, в них не може бути усталеної роботи в динамічних режимах. Для корекції статичних систем керування, з метою забезпечення більшої точності, збільшують коефіцієнт підсилення. Але така корекція є обмеженою і не завжди приводить до бажаних результатів. Як ми переконались, збільшення коефіцієнта підсилення приводить до погіршення якості регулювання, зменшення запасу стійкості  $i$ , в кінцевому результаті, до втрати стійкості системи. Для покращення роботи змінюють структурні схеми САК, долучаючи інші ланки. Залежно від типів коригуючих ланок і способів їх приєднання розрізняють різні типи регуляторів. У даній роботі розглянуто пропорційно-інтегруючий регулятор, який вмикається одразу після ланки порівняння.

#### **4. Побудова астатичної системи**

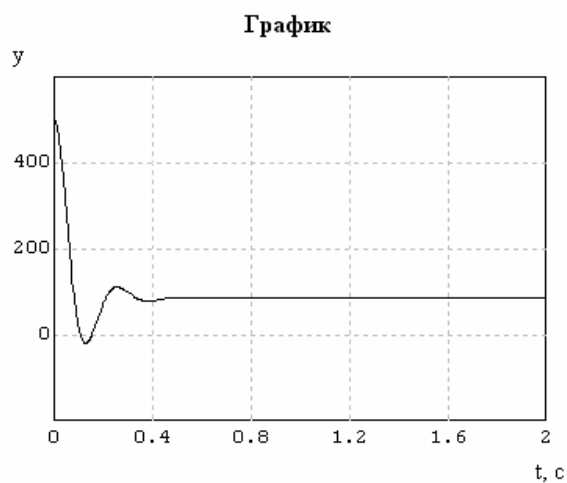
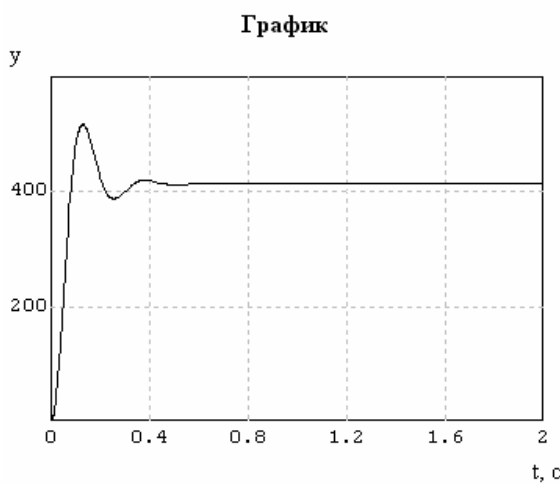
- 4.1. Відкрити структурну схему САК двигуна, розглянуту в попередній лабораторній роботі.

- 4.2. Змінити структурну схему, ввівши між пристроєм порівняння і блоком підсилювача інтегруючу ланку.

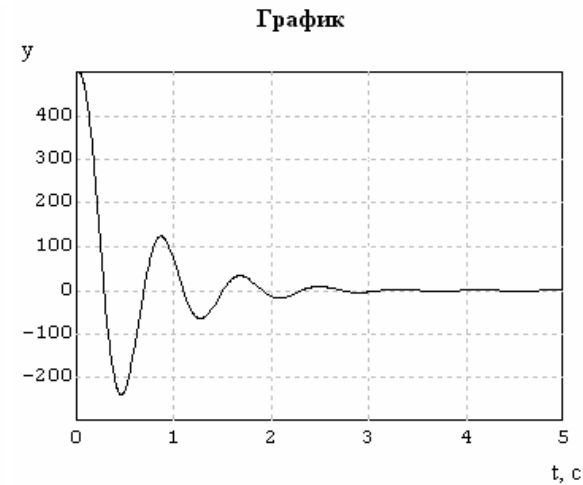
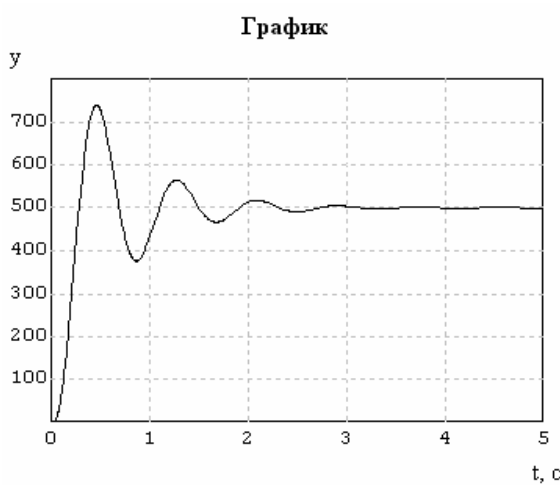


- 4.3. З введенням інтегруючої ланки сповільнюється дія регулятора і збільшується тривалість перехідного процесу. Тому потрібно змінити час інтегрування. Це можна зробити за допомогою команди **Моделирование > Параметры расчета**. Збільшити час інтегрування. Для дослідження роботи системи без навантаження в блоці суматора навантаження встановіть коефіцієнт рівним нулю. (**Весовые множители 1 0**).
- 4.4. Виконайте попереднє моделювання роботи САК.
- 4.5. Якщо коефіцієнт підсилення підібрано правильно, то характер перехідного процесу повинен бути приблизно таким же як і до перетворення системи в астатичну. Підберіть значення коефіцієнта підсилення (збільшити чи зменшити ще в 5 - 10 разів) так, щоб характер перехідного процесу був аналогічним до того який був у статичної системи в попередній лабораторній роботі.
- 4.6. Виконайте моделювання роботи двигуна. Зарисуйте характер перехідного процесу й характер зміни похибки керування.
- 4.7. Виведіть сигнал похибки керування. Переконайтесь, що похибка керування по вхідному статичному сигналу в усталеному режимі роботи рівна нулю. Запишіть у звіт значення коефіцієнта підсилення і тривалість перехідного процесу.
- 4.8. Змініть коефіцієнт підсилення так, щоб характер перехідних процесів змінився (такий же характер, як при виконанні попередніх лабораторних робіт). Визначте величини похибки керування для різного характеру перехідного процесу

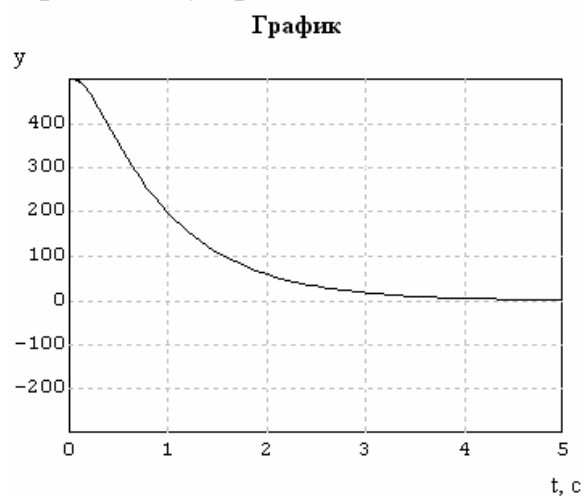
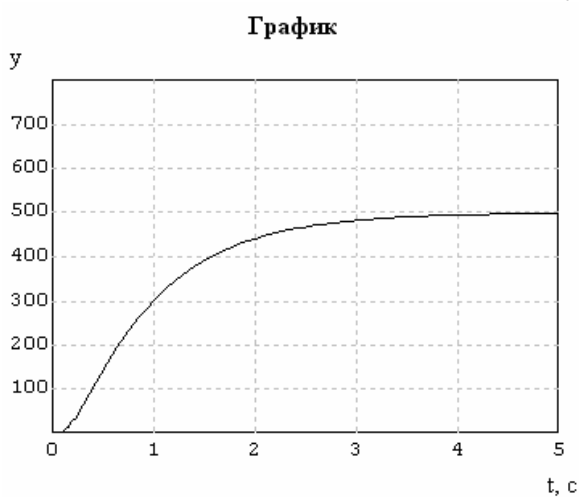




Перехідна характеристика й величина похибки статичної системи



Перехідна характеристика й величина похибки астатичної системи при коливальному переходному процесі.



Перехідна характеристика й величина похибки астатичної системи при монотонному переходному процесі.

## 5. Дослідження роботи астатичної системи в статичних режимах навантаження

5.1. Дослідіть похибку керування статичної системи.

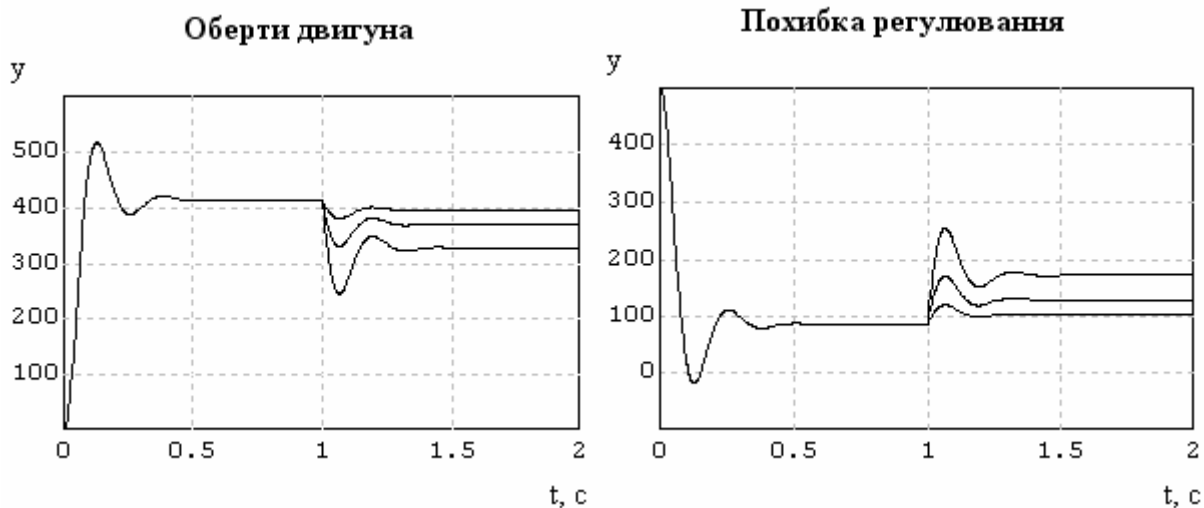
5.1.1. Перетворіть систему на статичну – вилучіть інтегруючу ланку.

5.1.2. Змодельуйте роботу системи і проконтролюйте, щоб час інтегрування був принаймні в 2 рази більшим від тривалості перехідного процесу.

5.1.3. Перевірте наявність ступінчастого сигналу збурення (навантаження на валу двигуна). У відповідному суматорі коефіцієнт повинен дорівнювати -1.

5.1.4. Встановіть параметри блока ступінчастого сигналу збурення: час зміни по завершенні перехідного процесу. Кінцеве значення величини навантаження порядку 100.

5.1.5. Змодельуйте роботу системи. Зарисуйте графіки перехідного процесу та похибки. Приклад графіків показано на рисунку.



5.1.6. Декілька разів змініть величину навантаження і відтворіть процес пуску.

5.1.7. За графіками визначте усталене значення обертів двигуна, похибку керування.

5.1.8. Запишіть дані у таблицю й побудуйте графіки залежності похибки керування від величини навантаження і залежності швидкості двигуна від навантаження.

№	$\omega$ , рад/ с	$T_{\text{п}}$ , с.	$F$ , $\text{Н}^*\text{м}$	$T_{\text{ф}}$ , $\text{Н}^*\text{м}$ .	$\Delta\omega_{\text{ф}}$ , рад/с .	$\Delta\omega$ , рад/ с

### Позначення:

Усталена швидкість двигуна,  $\omega$ , рад/с.

Тривалість перехідного процесу (при пуску),  $T_{\Pi}$ , с.

Величина навантаження,  $F$ , Н\*м.

Тривалість перехідного процесу при зміні навантаження,  $T_F$ , Н\*м.

Максимальна зміна швидкості,  $\Delta\omega_F$ , рад/с.

Похибка регулювання в усталеному режимі,  $\Delta\omega$ , рад/с.

## 5.2. Дослідження точності керування астатичної системи.

5.2.1. Перетворіть систему в астатичну, вставивши інтегруючу ланку.

5.2.2. Змодельуйте роботу системи й визначте тривалість перехідного процесу.

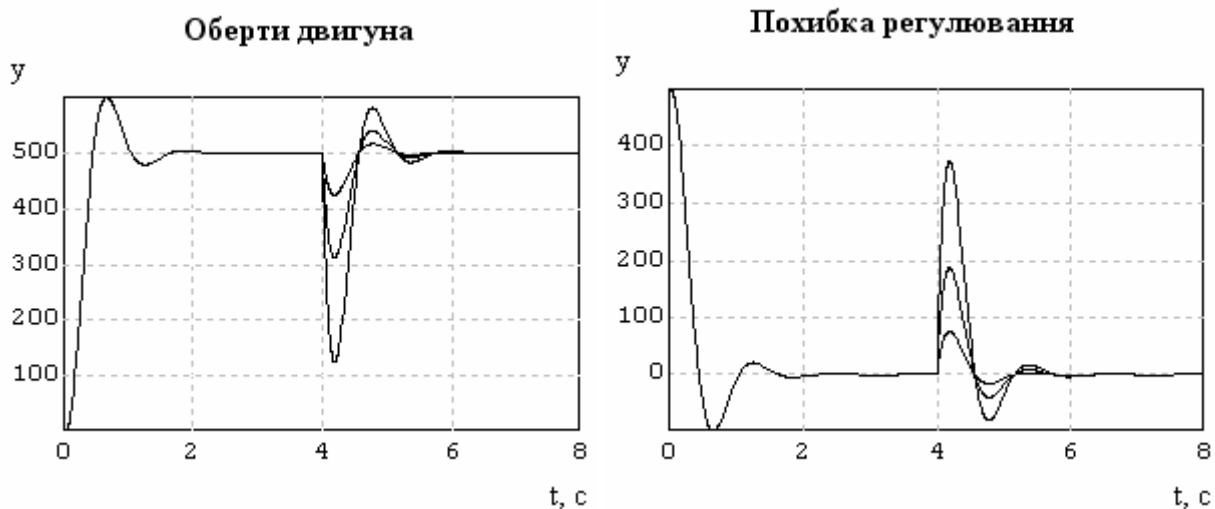
5.2.3. У блоці навантаження встановіть початок його дії по завершенні перехідного процесу.

5.2.4. Змодельуйте роботу системи.

5.2.5. Декілька разів поміняйте величину навантаження і запишіть значення усталених обертів двигуна і величину похибки в усталеному режимі.

5.2.6. Побудуйте графіки залежності похибки керування і швидкості двигуна від величини навантаження ( можна їх помістити на тих же графіках, що і для статичної системи).

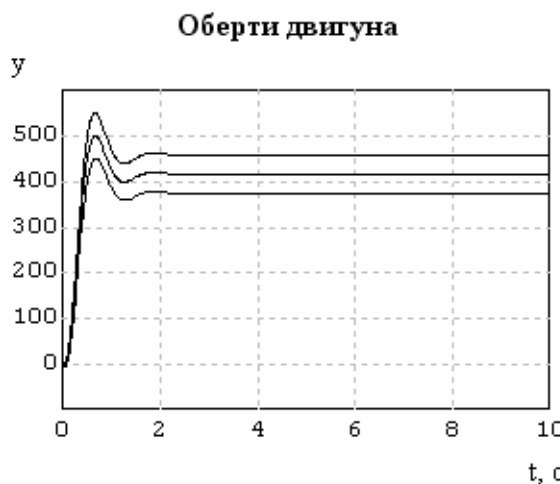
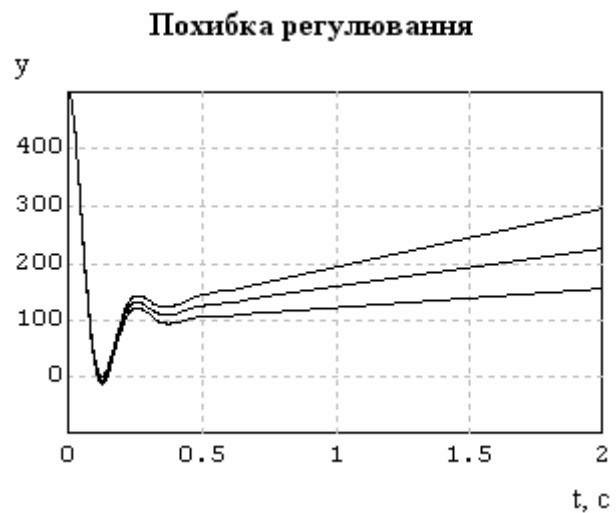
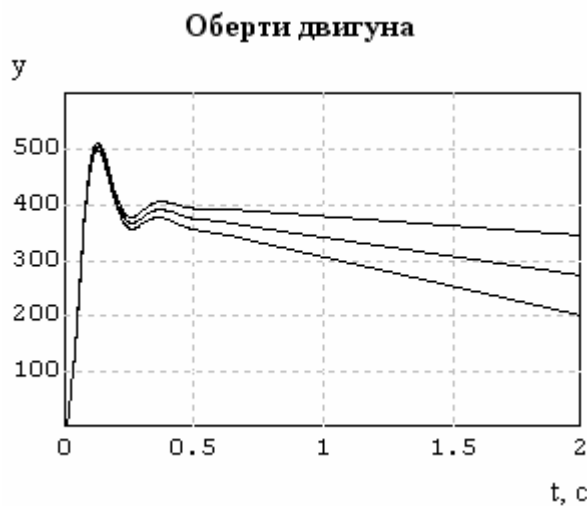
5.2.7. Зробіть висновок щодо поведінки астатичної системи при зміні навантаження.



Результати проведених дослідів подайте у вигляді графіків і таблиць.

## 5.3. Дослідження роботи астатичного регулятора в динамічних режимах

Динамічний режим роботи характеризується постійною зміною величини навантаження. Найпростіший динамічний режим виникає, коли величина навантаження змінюється з постійною швидкістю. Для подачі такого навантаження замість ступінчастого сигналу збурення вставте сигнал, який лінійно змінюється з часом  $kt$  -



- 5.3.1. Змініть структурну схему ввівши лінійний сигнал збурення.
- 5.3.2. Задайте значення початкової величини рівне 0 і швидкість зміни, наприклад 100
- 5.3.3. Змодельуйте роботу системи
- 5.3.4. Зарисуйте графіки зміни швидкості двигуна й величини похибки.
- 5.3.5. Повторіть досліди зі статичною і астатичною системою (при наявності інтегруючої ланки).
- 5.3.6. Зробіть висновок щодо можливості роботи статичної та астатичної системи в усталеному режимі при такому характері зміни навантаження.
- 5.3.7. Змініть структурну схему системи, ввівши лінійний сигнал керування замість ступінчастого на входи системи.
- 5.3.8. Відімкніть дію сигналу збурення, ввівши коефіцієнт рівний 0 (нулю) у відповідний суматор.
- 5.3.9. Змодельуйте роботу системи.
- 5.3.10. Виведіть і зарисуйте графіки зміни швидкості двигуна й величини похибки.
- 5.3.11. Поміняйте астатичну систему на статичну і проробіть досліди повторно.

5.3.12. Дайте відповідь, для якої системи можливий усталений режим роботи при такому характері задаючого сигналу?

№	$V_F$ , Н*м/с.	$\omega$ , рад/с	$\Delta\omega$ , рад/с	$\varepsilon$

Позначення:

Швидкість зміни навантаження,  $V_F$ , Н\*м/с.

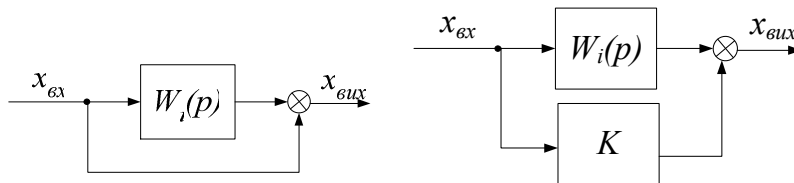
Кінцева усталена швидкість двигуна,  $\omega$ , рад/с.

Величина усталеного значення похибки керування,  $\Delta\omega$ , рад/с.

Відносна похибка регулювання в усталеному режимі,  $\varepsilon$ .

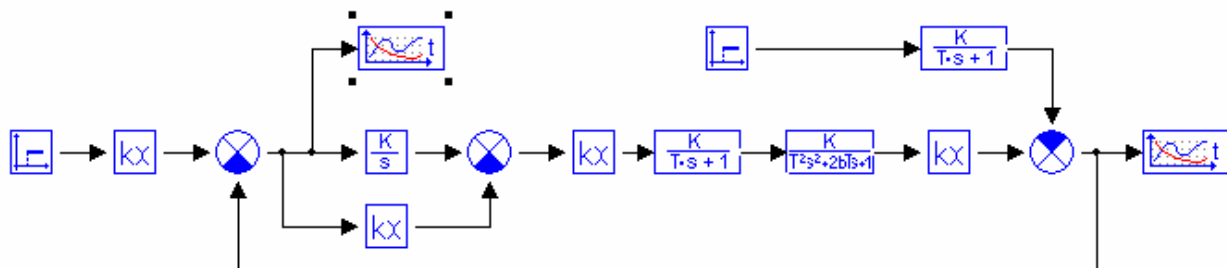
#### 5.4. Вивчення роботи астатичної системи керування з ПІ регулятором

Інтегруюча ланка в якості регулятора призводить до збільшення часу регулювання і до зменшення стійкості системи і навіть до її втрати. Тому для корекції часто використовують ізодромну ланку. Ізодромна ланка являє собою інтегруючу ланку, паралельно якій ввімкнута підсилююча ланка з коефіцієнтом підсилення рівним 1.



Для покращення регулювання паралельно інтегруючій ланці вмикають підсилюючу ланку. Змінюючи коефіцієнт підсилення паралельної ланки, можна вибрати найбільш оптимальний режим регулювання. Регулятор з такою ланкою називають ПІ регулятором (Пропорційно інтегруючим регулятором). Збільшення коефіцієнта підсилення паралельної ланки приводить до зменшення часу перехідного процесу і разом з тим до погіршення перехідного процесу, виникненню перерегулювання та нестабільності системи. Проте діапазон регулювання між крайніми випадками досить великий і є можливість вибрати режим, при якому буде виконано цілий ряд вимог до якості системи керування. Збільшення коефіцієнта підсилення ланки регулятора наближає процес регулювання до системи з чисто пропорційною ланкою.

5.4.1. Виконайте зміни в системі керування, вставивши ізодромну ланку (інтегруючу й паралельно їй підсилюючу ланку).



- 5.4.2. Встановіть значення величини навантаження, що і в попередніх завданнях.
- 5.4.3. Дослідіть роботу системи в статичному режимі при різних значеннях коефіцієнта підсилення ланки регулятора. (Величину коефіцієнта підсилення змінюйте в широкому інтервалі значень до тієї величини, коли робота системи стане нестійкою.).
- 5.4.4. Зарисуйте характер зміни процесу регулювання.
- 5.4.5. Заповніть таблицю експерименту та зробіть висновки.

№	K	T <sub>п</sub> , с.	F, Н*м	T <sub>ф</sub> , Н*м.	ω, рад/с	Δω, рад/с
						.

*Позначення:*

- Коефіцієнт підсилення регулятора
  - Усталена швидкість двигуна, ω, рад/с.
  - Тривалість перехідного процесу (при пуску), T<sub>п</sub>, с.
  - Величина статичного навантаження, F, Н\*м.
  - Тривалість перехідного процесу при зміні навантаження, T<sub>ф</sub>, Н\*м.
  - Похибка регулювання в усталеному режимі, Δω, рад/с.
- 5.4.6. Замініть статичне навантаження динамічним. Для цього замініть ступінчасту ланку лінійною. Встановіть відповідні параметри лінійної ланки.
  - 5.4.7. Виконайте моделювання роботи двигуна.
  - 5.4.8. Декілька разів змініть швидкість замін навантаження і занесіть дані в таблицю. Таблиця аналогічна попередній, тільки в колонці навантаження потрібно показати швидкість зміни навантаження в Н\*м/с.
  - 5.4.9. Проаналізуйте результати експерименту й зробіть висновки.
  - 5.4.10. Збережіть створену модель у вигляді нового файлу.

## **6. Завершення роботи**

- 7.14. Збережіть файли з рисунками, якщо вони були записані під час виконання роботи.
- 7.15. Виконайте розрахунки й побудуйте графіки.
- 7.16. Покажіть викладачеві результати виконаної роботи.
- 7.17. Виправте результати згідно із зауваженнями викладача.
- 7.18. Закрийте моделі і вийдіть з пакету MBTU.
- 7.19. Вимкніть комп'ютер кнопкою пуск.
- 7.20. У разі потреби запишіть на комп'ютері викладача файли з результатами роботи.

## **8. Звіт з лабораторної роботи**

8.1. Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- Назву і мету лабораторної роботи.
- Варіант завдання і значення коефіцієнтів системи, відповідно до варіанту завдання.
- Структурні схеми моделей.
- Графіки перехідних процесів і величини похибки.
- Розрахунки точності регулювання.
- Таблиці з результатами розрахунків.
- Побудовані самостійно графіки.

## **9. Контрольні запитання**

- 9.1. Які САК називаються статичними, а які астатичними?
- 9.2. Як пов'язана величина похибки САК з порядком астатизму?
- 9.3. Як впливає величина коефіцієнта підсилення на точність САК?
- 9.4. Що таке похибка за керуючою дією та за збуренням?
- 9.5. Яку величину називають статизмом системи?
- 9.6. В яких режимах роботи визначається похибка САК?
- 9.7. Які динамічні режими роботи САК Ви знаєте?
- 9.8. Як перетворити статичну систему в астатичну?
- 9.9. Як можна збільшити точність САК?
- 9.10. Яке значення точність САК має на практиці?
- 9.11. Як поведуть себе статична й астатична системи в динамічному режимі роботи?

## Література

1. Сорока К.О. Теорія автоматичного керування: Навч. посібник. Х.: ХНАМГ, 2006, -187 с.
2. Попович М.Г., Ковальчук О.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 2007, -656 с.
3. Власов К.П. Теория автоматического управления. Учебное пособие. Х.: Изд-во «Гуманитарный центр», 2007, -526 с.
4. Клиначёв Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Office версия 4.1. - Челябинск, 2009.
5. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. - М.: Высш. шк., 1973.
6. . Воронов А.А. Теория автоматического управления. Ч.1. - М.: Высш. шк. 1986.
7. 3. Фельдбаум А.А. Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. - М.: Наука, 1971.
8. Сайти: <http://www.bmstu.ru/>. <http://model.exponenta.ru/tau.html>.  
<http://lib.mexmat.ru/books/12601>,  
[http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория\\_автоматического\\_управления](http://ru.wikipedia.org/wiki/Теория_автоматического_управления),  
[http://www.eltech.ru/kafedrs/fea\\_sau/](http://www.eltech.ru/kafedrs/fea_sau/)



Таблиця 1

Дані до варіантів завдань

№ вар	Аперіодична		Інтегруюча	Реальна диференційна		Коливальна			
	<i>K</i>	<i>T</i>		<i>K</i>	<i>T</i>	<i>K</i>	<i>T</i>	<i>D</i>	
1	2	0,01	1	10	0,3	10	20	0,1	
2	1	0,02	5	20	0,01	5	5	0,2	
3	5	0,04	0,4	5	0,02	0,4	2	0,4	
4	0,4	0,05	2	2	0,1	2	0,1	0,5	
5	2	0,1	10	0,1	0,01	10	0,5	0,6	
6	10	0,1	20	0,5	0,02	20	1	0,1	
7	20	0,2	5	1	0,04	5	0,5	0,2	
8	5	0,4	2	5	0,05	2	1	0,4	
9	2	1	0,1	30	0,1	0,1	0,5	0,5	
10	0,1	2	0,5	0,1	0,1	0,5	2	0,2	
11	0,5	0,05	1	0,5	0,2	4	10	0,4	
12	1	0,03	5	2	0,04	2	0,04	0,5	
13	0,5	0,1	30	10	0,1	1	0,05	0,3	
14	1	0,2	0,1	0,5	0,25	5	0,1	0,5	
15	0,5	0,2	0,2	20	0,05	3	0,1	0,6	
16	2	0,15	5	1	0,03	0,1	0,2	0,7	
17	10	0,4	0,15	5	0,1	0,2	0,4	0,35	
18	0,5	0,2	0,4	30	0,2	5	1	0,2	
19	20	0,5	2	0,1	0,2	0,15	2	0,25	
20	1	0,02	4	0,2	0,15	0,4	2	0,4	
21	5	0,4	1	5	0,4	2	0,05	0,3	
22	30	0,5	1	0,15	0,2	4	0,03	0,5	
23	0,1	0,5	0,5	0,4	0,5	3	0,1	0,4	
24	0,2	0,4	2	2	0,02	0,05	0,2	0,4	
25	5	0,5	10	4	0,4	0,03	0,2	0,5	
26	0,15	5	0,5	1	0,5	0,1	0,5	0,6	
27	0,4	3	20	1	0,5	0,2	0,02	0,3	
28	2	1	1	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	
29	4	2	5	2	0,5	0,15	0,5	0,2	
30	1	1	0,5	10	0,05	0,4	0,25	0,4	

Таблиця 2. Варіанти завдання лабораторних робіт №3-7

№ вар	$L_3$ Гн	$R_3$ Ом	$\beta$	$L_я$ Гн	$R_я$ Ом	$J$ Кгм <sup>2</sup>	$C$	$K_{m\epsilon}$ *с/В	$K_n$
1	27	27	106	0,019	0,16	2,5	0,08	0,0019	470
2	35	35	125	0,028	0,25	3,0	0,1	0,0034	200
3	22	26	149	0,026	0,27	2,7	0,2	0,0020	220
4	24	35	75	0,022	0,12	1,0	0,1	0,0026	410
5	56	36	54	0,029	0,10	2,2	0,08	0,0050	220
6	35	46	141	0,030	0,17	2,4	0,1	0,0040	430
7	49	20	57	0,017	0,10	3,8	0,07	0,0029	450
8	51	38	51	0,022	0,22	1,4	0,15	0,0042	90
9	25	46	129	0,018	0,17	3,6	0,22	0,0034	150
10	56	49	79	0,033	0,28	2,6	0,13	0,0019	340
11	57	24	147	0,024	0,11	2,1	0,12	0,0049	360
12	22	46	61	0,030	0,16	2,7	0,2	0,0027	580
13	53	31	56	0,017	0,09	2,2	0,08	0,0035	430
14	49	35	128	0,017	0,22	2,7	0,1	0,0035	280
15	53	38	68	0,026	0,12	2,1	0,09	0,0021	390
16	57	20	98	0,034	0,23	1,6	0,2	0,0024	100
17	44	25	78	0,018	0,24	3,5	0,08	0,0023	140
18	64	45	124	0,022	0,19	3,1	0,15	0,0024	260
19	39	41	63	0,030	0,10	1,7	0,08	0,0021	340
20	45	23	76	0,033	0,13	2,3	0,22	0,0041	100
21	43	20	62	0,024	0,21	3,0	0,06	0,0045	550
22	30	24	82	0,020	0,14	2,2	0,09	0,0017	430
23	46	47	140	0,034	0,22	3,4	0,3	0,0049	340
24	31	46	135	0,019	0,10	2,9	0,2	0,0016	390
25	32	28	68	0,026	0,20	3,0	0,16	0,0028	90
26	50	30	71	0,028	0,25	1,4	0,15	0,0042	120
27	42	47	120	0,030	0,22	3,0	0,35	0,0039	300
28	20	50	61	0,035	0,16	2,7	0,2	0,0027	500
29	44	30	68	0,018	0,24	3,0	0,08	0,0023	150
30	40	40	60	0,030	0,10	1,7	0,09	0,0021	350

Таблиця 3 Варіанти параметрів динамічних ланок

№	Значення коефіцієнтів											Сигнал	
	Аперіодичні ланки								Інт.	Р. дифер.		v	a
	K <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	T <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	T <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	T <sub>6</sub>	1/c	1/c <sup>2</sup>
1	2	0.01	1	0.05	1	0.1	1	0.2	1	1	0.01	1	1
2	1	0.02	1	0.03	1	0.04	2	0.5	0.2	1	0.01	2	1
3	2	0.04	0.5	0.1	2	0.2	1	0.02	0.4	1	0.01	3	2
4	1	0.05	1	0.2	1	0.08	2	0.4	0.8	1	0.01	4	2
5	2	0.1	0.5	0.2	1	0.3	1	0.5	1	1	0.01	5	3
6	1	0.1	2	0.15	2	0.2	1	0.5	1	1	0.01	6	3
7	2	0.2	1	0.4	1	0.8	1	0.4	2	1	0.01	7	4
8	1	0.4	0.5	2	1	1	1	0.5	3	1	0.01	8	4
9	2	1	1	4	2	3	1	5	1	1	0.01	9	5
10	1	2	1	1	1	2	1	3	4	1	0.01	1	5
11	1	0.1	1	1	2	0.1	0.01	0.1	1	0.01	1	1	11
12	2	0.2	1	0.2	1	0.2	0.02	0.2	1	0.01	2	1	12
13	3	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.03	0.4	1	0.01	3	2	13
14	1	0.4	1	0.3	1	0.8	0.04	0.8	1	0.01	4	2	14
15	2	0.5	1	0.2	0.5	1	0.05	1	1	0.01	5	3	15
16	3	0.6	0.5	0.1	1	2	0.06	2	1	0.01	6	3	16
17	1	0.7	1	1	2	3	0.07	3	1	0.01	7	4	17
18	2	0.8	1	2	1	4	0.08	4	1	0.01	8	4	18
19	3	0.9	0.5	1	1	5	0.09	5	1	0.01	9	5	19
20	1	1	1	1	1	1	0.1	1	1	0.01	1	5	20

Тут К - коефіцієнт підсилення; Т - постійна часу; D - коефіцієнт загасання.

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до самостійного вивчення дисципліни та виконання лабораторних робіт з курсу “Теорія автоматичного керування” (для студентів 3 курсу заочної форми навчання (напрямку підготовки 0922 (6.050702) “Електромеханіка” спеціальностей “Електричні системи і комплекси транспортних засобів”; “Електричний транспорт”; “Електромеханічні системи автоматизації та електропривод”).

Укладач: Костянтин Олексійович Сорока

Редактор: М.З.Аляб'єв

Комп'ютерна верстка: І.В. Волосожарова

План 2009, поз. 236 М

---

Підп. до друку 22.12.09	Формат 60x84 1/16	Папір офісний
Друк на ризографі	Умовн.-друк. арк. 4,8	Обл.-вид.арк.5,0
Замовл. №	Тираж 50 прим.	

---

Сектор оперативної поліграфії ЦНІТ ХНАМГ  
61002 Харків, вул. Революції, 12